

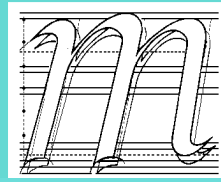
ISSN 2667-4297

MAKİNA TASARIM VE İMALAT DERGİSİ

Cilt: 20

Sayı: 2

Kasım 2022



m a t i m

**Metal Şekillendirme Mükemmeliyet Merkezi
ATILIM ÜNİVERSİTESİ - ANKARA**

Yayın Kurulu

Editör: Erhan İlhan Konukseven
Yardımcı Editör: Hakan Kalkan
Yardımcı Editör: Oğuzhan Yılmaz
Yardımcı Editör: Sezer Özerinç

ODTÜ
Atılım Üniversitesi
Gazi Üniversitesi
ODTÜ

Kurul Üyeleri

Metin Akkök
Can Çoğun
Mustafa Bakkal
Cemal Merih Şengönül
Erhan Budak
İsmail Durgun
Volkan Esat
Mehmet Fırat
Hüseyin Filiz
Necdet Geren
Mustafa İ. Gökler
Yiğit Karpat
İsmail Lazoğlu
İzzet Özdemir
Ferruh Öztürk
Evren Yasa
İ. Ethem Saklakoğlu
Halim Meço
Yusuf Kaynak
Ali Oral
Haydar Livatyalı

ODTÜ
Çankaya Üniversitesi
İTÜ
Atılım Üniversitesi
Sabancı Üniversitesi
TOFAŞ
ODTÜ Kuzey Kıbrıs
Sakarya Üniversitesi
Gaziantep Üniversitesi
Çukurova Üniversitesi
ODTÜ
Bilkent Üniversitesi
Koç Üniversitesi
İYTE
Uludağ Üniversitesi
Eskişehir
EGE Üniversitesi
FNSS
Marmara Üniversitesi
Balıkesir Üniversitesi
YTÜ

Danışma Kurulu

Tuna BALKAN
Melik DÖLEN
O. Selçuk YAŞI
Yiğit YAZICIOĞLU
Orhan YILDIRIM

ODTÜ
ODTÜ
ENVY A.Ş.
ODTÜ
ODTÜ

Yazışma Adresi, Telefon ve Faks

Makina Tasarım ve İmalat Derneği
Metal Şekillendirme Mükemmeliyet Merkezi
ATILIM Üniversitesi
İncek, ANKARA
Tel : (312) 586 8860, 586 8368, Faks : (312) 586 8091
Web : <http://www.matim.org.tr>
e-mail : iletisim@matim.org.tr

MAKİNA TASARIM VE İMALAT DERGİSİ

Cilt: 20 Sayı: 2

JOURNAL OF
MECHANICAL DESIGN
AND PRODUCTION

Vol: 20 No: 2

ISSN 2667-4297

TELİF HAKKI

Makina Tasarım ve İmalat Dergisinde yayımlanan bütün yazıların telif hakkı MAKİNA TASARIM VE İMALAT Derneği'nindir. Yayımlanmış yazıların başka bir yerde tekrar yayımlanması, çoğaltılması ve dağıtılması, Yayın Kurulundan yazılı izin almak koşulu ile mümkündür. Makalelerdeki görüşlerden doğacak sorumluluk makale yazarına aittir.

DİZGİ

Hülya SEVER

BASKI

DERGİPARK-Elektronik Yayın

Yılda 2 sayı Mayıs ve Kasım aylarında yayımlanır.

İÇİNDEKİLER

ARAŞTIRMA, GELİŞTİRME VE UYGULAMA MAKALELERİ

- Orta ve Yüksek Teknoloji Ürünleri Üreten İmalat Sektörlerinin Son On Yıldaki Performansının Değerlendirilmesi 49
Yusuf Tansel İç
- Helikopter Ürün Konumlandırma ve AHP/TOPSIS Yöntemi 61
**Nesij Ünal
Yahya Öz**
- Vakumlu Bir Yol Süpürücünün Vakum Arabası Tasarımının Parçacık Toplama Verimliliğine Etkisinin İncelenmesi 71
**Zeynep Aslı Oruç
Volkan Açıkgöz
Mutlu Biçici**
- An Experimental Evaluation of The Three Types of Corrosion, Passivation, Pitting, and Uniform Corrosion, by Electrodeposited Chromium-Nano Diamond Composite Coating on Porous Materials 79
**Nima Zoghipour
Radoslav Valov
Vladimir Petkov
Elmas Salıncı
Rahmi Ünal**
- Elyaf Takviyeli Polimer Tamir Tasarımının Sistemantik Tasarım Yöntemi ile Belirlenmesi 86
**Öznur Bayraktar Erbudak
Orhan Erden**

Sayın Okurlarımız,

Makina Tasarım ve İmalat Dergisi 1986 yılından bu yana özgün araştırmaları yayımlayan hakemli bir dergi olarak süreklilik kazanmıştır. 2001 yılında dergimize ISBN (ISBN1302-9487) numarası verilmiş, TÜBİTAK tarafından ulusal veri tabanına alınmış ve dergi basım adedi artırılarak Türkiye’de daha yaygın dağıtımı sağlanmıştır.

Yayın kurulumuz dergiye özgün çalışma ürünü, derleme veya bir bilgi ve tecrübe aktarımını sağlayacak makaleler bulmak konusunda katılımlarınızı beklemektedir. Ayrıca kitap tanıtımı, konu taraması ve sanayi kuruluşlarının etkinliklerini içeren yazılara da geçmişte olduğu gibi yer verilmektedir.

Dergimiz, 2017 yılından beri TÜBİTAK DERGİPARK ortamında yayınlanmaktadır. (<http://dergipark.org.tr/tr/pub/matim>) 2019 yılından beri elektronik yayına dönmemiz nedeni ile dergi ISSN-No 2667-4297 olmuştur. Dergimizin eski sayılarına da (<http://dergipark.org.tr/tr/pub/matim/archive>) adresinden ulaşılmaktadır.

Ayrıca yeni web sayfamızda (<http://matim.org.tr/>) Dergimiz ve Derneğimiz ile ilgili bilgiler bulunmaktadır. Dergimiz 2021 yılındanberi tekrar TR Dizin tarafından da önceki yıllarda olduğu gibi taranmaya devam edilmiştir.

(<https://app.trdizin.gov.tr/dergi/TWpreE1RPT0/makina-tasarim-ve-imalat-dergisi>)

Dergimizi, endüstri ve akademik kuruluşlarımızın karşılıklı bilgi alışverişinde bulunduğu, teknik sorunları tartıştığı ortak bir forum haline getirmek için siz meslektaşlarımızın katkı ve önerilerini bekleriz.

Saygılarımızla,

Yayın Kurulu

Yusuf Tansel İ ID

BaŐkent Üniversitesi
Endüstri Mühendisliği Bölümü,
Etimesgut, Ankara

Orta ve Yüksek Teknoloji Ürünleri Üreten İmalat Sektörlerinin Son On Yıldaki Performansının Değerlendirilmesi

Ekonomik gelişmelere paralel olarak, imalat sektörlerinin gelişimi de sürmektedir. Türkiye ekonomisi son on yıllık süreçte özellikle ileri teknoloji ürünü ürünlerin üretimine odaklanarak, yüksek katma değerli ürün ihracatına yönelmektedir. Bu kapsamda imalat sektörleri; düşük, orta ve ileri teknoloji üreten sektörler olarak gruplanmakta ve özellikle ileri teknoloji ürünleri üreten sektörler desteklenmeye çalışılmaktadır. Bu çalışmada, son on yıllık süreçte Türkiye ekonomisinin makro göstergeleri kullanılarak, özellikle orta ve ileri teknoloji üreten imalat sektörlerinin performans gelişimi analiz edilmiştir. Bu amaçla, çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden biri olan TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. TOPSIS yöntemiyle alternatif imalat sektörleri makroekonomik göstergeler bazında farklı senaryolara göre sıralanmıştır.

Anahtar Kelimeler: İmalat sektörü, Türkiye ekonomisi, ileri teknoloji ürünleri, TOPSIS.

Makale Bilgisi:

Araştırma Makalesi

Gönderilme: 27.03.2022

Kabul: 16.06.2022

*Sorumlu Yazar: Yusuf Tansel İ

Email: yustanic@baskent.edu.tr

DOI: 10.56193/matim.1094133

Atıf şekli/How to cite: İ Y.T., Orta ve Yüksek Teknoloji Ürünleri Üreten İmalat Sektörlerinin Son On Yıldaki Performansının Değerlendirilmesi. Makina Tasarım ve İmalat Dergisi, 2022; 20(2): 49-60.

DÜNYADA VE TÜRKİYE'DEKİ EKONOMİK GELİŞMELERE GENEL BAKIŞ

Teknolojik gelişime paralel olarak, dünyada yaşanan gelişmeler doğrultusunda özellikle dijital dönüşüm başlığında sektörlerde hızlı ve önemli gelişimler yaşanmaktadır. Bu bağlamda; bilgisayar teknolojilerinin imalat alanında kullanılmaya başlandığı 1950'li yıllardan bu güne, imalat sanayii otomasyon ve robot teknolojileri gelişimlerine ayak uydurarak günümüze kadar gelişimini sürdürmüştür. Ancak 4. Sanayi devrimi kavramının ortaya çıkışıyla birlikte; sanayide bilgisayar teknolojilerinin kullanımına iletişim teknolojilerinin de entegre olmasıyla daha hızlı, daha etkin ve kaliteli üretim felsefelerinin bir adım ötesindeki daha esnek, daha yalın, tam zamanında ve istenen niteliklerde ürün ve hizmetlerin üretilmesi konuları ön plana çıkmıştır.

İmalat sektöründe yaşanan gelişmeler sadece sektör içerisinde kapalı bir döngüye hapsolmemiştir. İleri teknolojilerin geliştirilmesi imalat sanayiinin kapasitesini artırmış ve bu alandaki kabiliyetler ileri

teknoloji ürünü tüketim mallarının da gelişmesini beraberinde getirmiştir. Bu cihazların en bilindik olanları mobil cihazlardır. Sadece cihaz teknolojisi açısından değil, mobil iletişim alanının gelişimi ve bilgisayar teknolojisiyle entegrasyonu açısından da toplumsal hayatta dönüşüm yaşanmaktadır. Artık günümüzde sadece üretim sistemlerinde değil, tüm ekonomik faaliyet gruplarında ve toplumun tüm kesimlerinde dijital teknolojiler hayatın içerisine girmiş durumdadır.

Elektronik ticaret, lojistik uygulamaları, ulaştırma sistemleri, otomotiv teknolojileri, iletişim teknolojileri, sağlık ve eğitim alanındaki robotik dijital çözümler, bankacılık ve finans kesimindeki dijital teknolojiler, kültürel ve sosyal etkinlikler, eğlence sektörü, sosyal medya vb. bir çok alan ve sektör artık dijital teknolojileri yoğun olarak kullanmakta ve bunun bir adım ötesi olan yapay zeka uygulamalarıyla entegrasyon boyutuna geçmektedir.

Sanayi devriminden bugüne kadarki süreçteki gelişmeler; 25-50 yıllık periyotlarla gelişim göstermiş olsa da, dijitalleşme kavramı çerçevesinde sektörlerin ve toplumsal hayatın değişimi artık 5-10 yıllık zaman periyotlarına ayrılarak değerlendirilir olmuştur.

Bu çalışmada öncelikle bilişim teknolojileri alanındaki gelişmelerin etkisinde gelişimini sürdüren ekonomik faaliyet gruplarının son 10 yıllık süreçteki gelişimi analiz edilmiştir. Ardından, imalat sektörünün ekonomik faaliyet grupları içerisindeki yerine değinilmiştir. Sonraki aşamada ise, imalat sektöründeki orta-yüksek teknoloji sınıfında yer alan alt sektörlerin (ekonomik faaliyet gruplarının) son 10 yıldaki gelişimi ve performansı farklı senaryolar bazında incelenmiştir.

Ekonomik faaliyet grupları bazında Türkiye ekonomisinin mevcut durumu

Bu alt bölümde Türkiye'deki temel ekonomik faaliyet alanlarındaki üretim değerinin 2010-2020 dönemindeki gelişimi analiz edilmiştir. Öncelikle Tablo 1'den izlenebileceği gibi, temel ekonomik faaliyet gruplarının 2010-2020 döneminde üretim değerleri ve bu 10 yıllık periyoddaki üretim değeri artış oranları listelenmiştir [1]. Tablo 1'de sunulan verilerin daha anlaşılabilir olması için bazı grafikler oluşturulmuştur. Öncelikle Şekil 1'deki gibi 2020 yılı itibarıyla toplam üretim değerinin ekonomik faaliyet gruplarına göre dağılım grafiği oluşturulmuştur.

Şekil 1'deki grafiğe göre 2020 yılı üretim değerinin ekonomik faaliyet gruplarına göre dağılımında İmalat (%47), Toptan ve perakende ticaret (%12), İnşaat (%10), Ulaştırma ve depolama (%8), Elektrik, gaz, buhar (%7) ekonomik faaliyet grupları en yüksek payı almaktadır. İmalat sektörü %47'lik bir oranla tüm üretim değerinin neredeyse yarısını karşılayarak Türk ekonomisinin en önemli unsuru olduğunu göstermektedir.

Şekil 2'de sunulan grafikte ise, 2010-2020 yılları arasında ekonomik faaliyet gruplarının üretim artış oranları sunulmuştur. Buna göre son 10 yıllık süreçte en fazla üretim artışı gerçekleştiren ekonomik faaliyet grupları "Kültür, sanat, eğlence, dinlence ve spor", "İmalat", "su temini", "madencilik ve taş ocakçılığı", "eğitim", "gayrimenkul faaliyetleri", "toptan ve perakende ticaret", "ulaştırma ve depolama", "elektrik, gaz, buhar" ve "İNŞAAT" şeklinde sıralanmaktadır.

Şekil 2'de dikkat çeken önemli bir hususun imalat sektörleri dışında yer alan; kültür-sanat, eğitim ve hizmet sektörlerinin toplam üretim değerinden aldığı payları az olsa da, en hızlı büyüyen ekonomik

faaliyet alanları olduğudur. Ancak toplam üretim değeri ile birlikte değerlendirildiğinde imalat sektörünün yine ekonomideki en önemli ve değer yaratan bir sektör olduğu görülebilmektedir.

Bu veriler ışığında, bu çalışmada Türkiye ekonomisinin üretim değerinin yarısını oluşturan imalat sektörünün özellikle orta ve yüksek teknoloji üreten alt sektörleri bazında makroekonomik göstergeler kullanılarak bir performans değerlendirmesi yapılmıştır. Bir sonraki bölümde literatür özeti sunulduktan sonra, çalışmada kullanılacak yöntem olan TOPSIS (Technique in Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) yönteminin uygulama adımları açıklanmıştır. Ardından alternatif imalat sektörlerinin performanslarına göre sıralanması gerçekleştirilmiş ve farklı senaryolara göre sıralama sonuçları tartışılmıştır. Sonuç bölümünde ise çalışmada ulaşılan sonuçlar özetlenmiştir.

LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde imalat sektörlerinin performans analizine yönelik çalışmalara rastlanmaktadır. Örneğin Vieira vd. [2] 1958-2009 döneminde rekabetin ABD imalat sektörlerinin üzerindeki etkilerini modellemek için bir verimlilik modeli sunmuşlardır. Chaurey vd. [3], üretim organizasyonları ve toplam verimli bakım (TPM) hakkında literatür taraması yapmışlardır. Çalışmada, TPM'nin etkin bir şekilde uygulanması için TPM çerçevesine uygun olarak TPM niteliklerini ve engellerini incelemişlerdir. Ayrıca çalışmalarında, TPM uygulamasındaki engelleri ve etkili TPM uygulaması için kritik başarı faktörlerini tanımlamışlardır.

Jin vd. [4] imalat firmalarında örgütsel davranışın hem uygulayıcıların, hem de onu benimseyenlerin bakış açılarından anlaşılıp anlaşılmadığını araştırmak için, Kuzey İrlanda ve İrlanda Cumhuriyeti'nden 531 şirketten oluşan bir örneklem kullanarak ikinci dereceden bir örgütsel yenilikçilik tipolojisi oluşturmuş ve analiz etmiştir. Terziovski [5] inovasyon faktörlerini ve bunların üretim KOBİ'lerindeki performans etkilerini tanımlayan çalışmasını 600 Avustralya'lı KOBİ'den oluşan bir örneklemeden anket verilerini toplayarak analiz etmiştir. Dewangan vd. [6] inovasyonun Hint imalat sektörünün rekabet gücünü sağlamadaki rolünü araştırdığı bir çalışma sunmuşlardır. Bickauske vd. [7], imalat endüstrisindeki Litvanya şirketlerinin yeterince dijitalleştirilip dijitalleştirilmediğini ve değer zinciri yaratmanın tüm segmentlerinde dijital çözümlerin kurulumunda Endüstri 4.0 ilkelerini tamamen benimsemeye hazır olup olmadığını belirlemek için bir çalışma sunmuşlardır. Yurdakul ve İç [8], kapsamlı bir

hijerarşik performans ölçüm modeli geliştirmeyi amaçlayan bir model sunmuşlardır. Önerilen model, yalnızca bir imalat şirketinin kendi sektöründeki genel performansını belirlemekle kalmayıp, aynı zamanda kritik faaliyetlerdeki güçlü ve zayıf yönlerini de ortaya koyabilmektedir. İç ve Yurdakul [9], bir imalat firmasının kritik operasyonlardaki başarı düzeylerini derecelendirerek ve bunları birleştirerek genel performans puanını ölçmek için bir bulanık TOPSIS modeli geliştirerek, çok seviyeli hijerarşik bir performans ölçüm modeli ortaya koymuşlardır. Mandal ve Bagchi [10] ise, bilgi yönetimi stratejisinin, teknoloji yönetimi stratejisinin ve bilişim yönetimi stratejisinin imalat sanayiindeki firmaların performansını nasıl etkilediğine dair bir çalışma sunmuşlardır. Kwak [11], stok devir hızını imalat süreçlerinde bir performans ölçüsü olarak alarak, 2010'dan 2018'e kadar Kore'deki 421 imalat şirketinin verilerine dayalı olarak, stok devir hızını etkileyen faktörlerin kapsamlı bir analizini sunmuş ve bunun diğer finansal oranlarla ilişkisini ortaya koymaya çalışmıştır. Ardından Altman'ın Z skor yöntemiyle imalat sektöründeki en iyi puana ve en kötü puana sahip olan şirketlerin performanslarını karşılaştırmıştır. Bhatia ve Kumar [12], Hindistan otomotiv imalatı endüstrisinde Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulanmasında kritik başarı faktörlerini regresyon analizi ile analiz etmişlerdir. Sonuç olarak çalışmalarında “veri yönetişimi” faktörünün tüm süreçleri etkileyen en kritik faktör olduğunu belirlemişlerdir. Xu ve Li [13], entelektüel sermayenin ve bileşenlerinin (insan, yapısal ve ilişkisel sermayeler) Çin'de borsaya kayıtlı imalat firmalarının üretim performansı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çalışmada, şirket sahipliğinin, sektör özelliklerinin ve coğrafi bölgelerin entelektüel sermaye performansıyla ilişkisi de incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda, devlete ait işletmelerin entelektüel sermaye üzerinde daha büyük bir etkisinin olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, özel şirketlere göre firma performansında; yüksek teknoloji imalat şirketlerinin, yüksek teknoloji ürünü üretmeyen imalat şirketlerinden daha yüksek entelektüel sermayeye sahip olduğu, Çin'in doğusundaki üretim şirketlerinin, orta ve batı bölgelerindeki muadillerinden daha yüksek entelektüel sermaye performansına sahip olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır. Abdel-Basset vd. [14] bulanık model tabanlı analitik hijerarşik prosesi (AHP:Analytic Hierarchy Process), VIKOR (Vlse Kriterijumska Optimizacija Kompromisno Resenje) ve TOPSIS yöntemlerini kullanarak, Mısır'daki çelik endüstrisi firmalarının finansal performansını ölçen bir model önermişlerdir. Yasmin vd. [15] bütünlük bir çok kriterli karar verme metodolojisi kullanarak büyük veri analitiği yeteneklerinin karşılıklı bağımlılığını ve bu yeteneklerin firma performansı üzerindeki etkisini

analiz etmişlerdir. Çalışmada öncelikle Pakistan'dan seçilmiş vaka çalışması firmalarından elde edilen bir veri seti oluşturulmuştur. Ardından, sezgisel bulanık DEMATEL (IF-DEMATEL: Intuitionistic Fuzzy Decision-Making Trial And Evolution Laboratory), analitik ağ süreci (ANP: Analytic Network Process) ve basit toplamalı ağırlıklandırma (SAW: Simple Additive Weighting) yöntemleri, büyük veri analitiği yeteneklerinin firma performansı ile ilişkisini değerlendirmek için uygulanmıştır. Gavalas vd. [16] ise, gemi inşa sektöründe performans göstergelerinin oluşturulmasını temel alan bir çalışma sunmuşlardır. Çalışmada bulanık DEMATEL, bulanık ANP ve MOORA (Multi-Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis) yöntemleri ile analizler gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılar, 25 farklı değişkeni göz önünde bulundurarak; finans, müşteri, iç süreç, öğrenme ve büyüme yönlerini içeren performans ve rekabet gücünün tahmin edilmesini sağlamaya çalışmışlardır. Metodoloji, Bengal Körfezi Havzası ülkelerinin aktif tersanelerinin analizi için kullanılmıştır. Kung vd. [17], finansal raporların analizine dayalı olarak, beş imalat firmasının performansının ölçüldüğü bir çalışma sunmuşlardır. Çalışmada bulanık AHP firma seçiminde kullanılacak kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için, bulanık TOPSIS yöntemi ise kriter değerlerine göre en uygun alternatifi belirlemek için kullanılmıştır.

Literatürdeki çalışmalar genellikle imalat sektörünün veya sektördeki firmaların performansını ölçmeye yönelik çalışmalar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada ise Türkiye ekonomisi içerisindeki imalat sektörlerinin orta-yüksek teknolojiye odaklanmış olanlarının kendi aralarında makro-ekonomik göstergeler bazında sıralanması hedeflenmektedir. Bu sıralama sonuçları bize ileride gelişme potansiyelini sürdürecektir olan sektörler hakkında önemli ipuçları sunabilecektir.

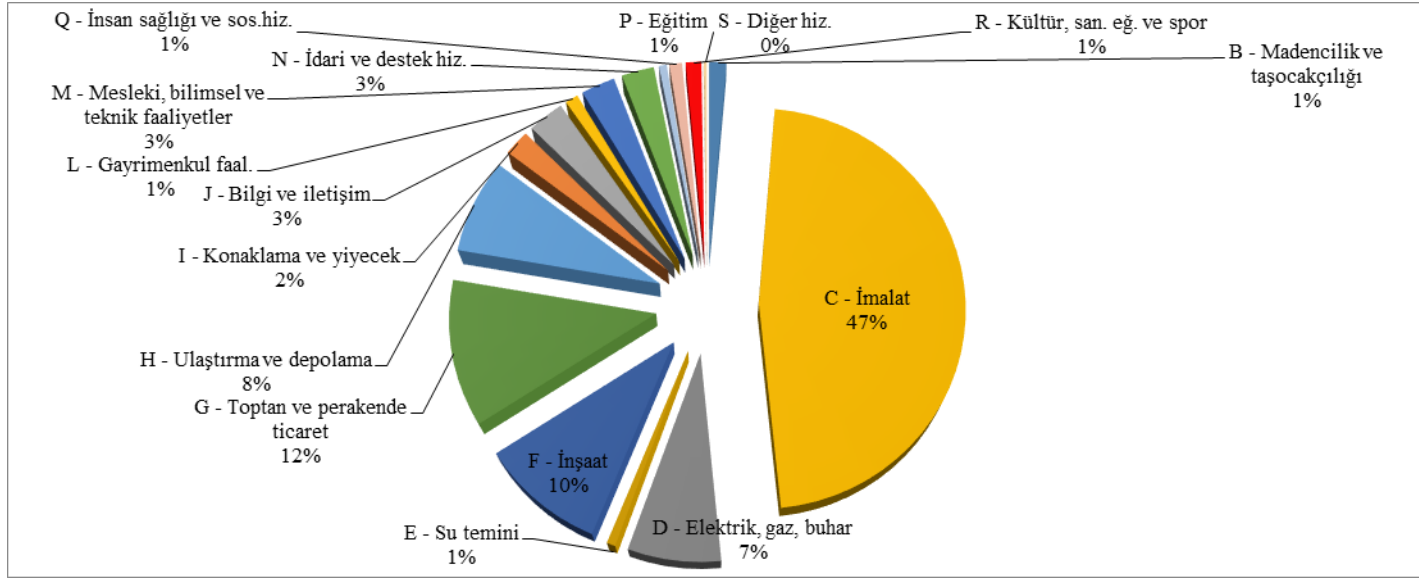
TOPSIS YÖNTEMİ

Türkiye ekonomisi içerisindeki imalat sektörlerinin orta-yüksek teknolojiye odaklanmış olanlarının kendi aralarında makro-ekonomik göstergeler bazında sıralanması için TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Hwang and Yoon [18] tarafından geliştirilen TOPSIS yöntemi literatürde iyi bilinen ve farklı alanlarda kullanılmış bir yöntemdir. Yöntem, uygulaması basit, farklı senaryolara göre sonuçların analizini mümkün kılan esneklikte ve kolay programlanabilen, ancak bir o kadar da dengeli, doğru ve tutarlı sonuçların alınabildiği bir çok ölçütlü karar verme yöntemidir. Bu nedenle çalışmada TOPSIS yönteminin kullanılması tercih edilmiştir. Yöntemin uygulama aşamaları aşağıda verilmiştir:

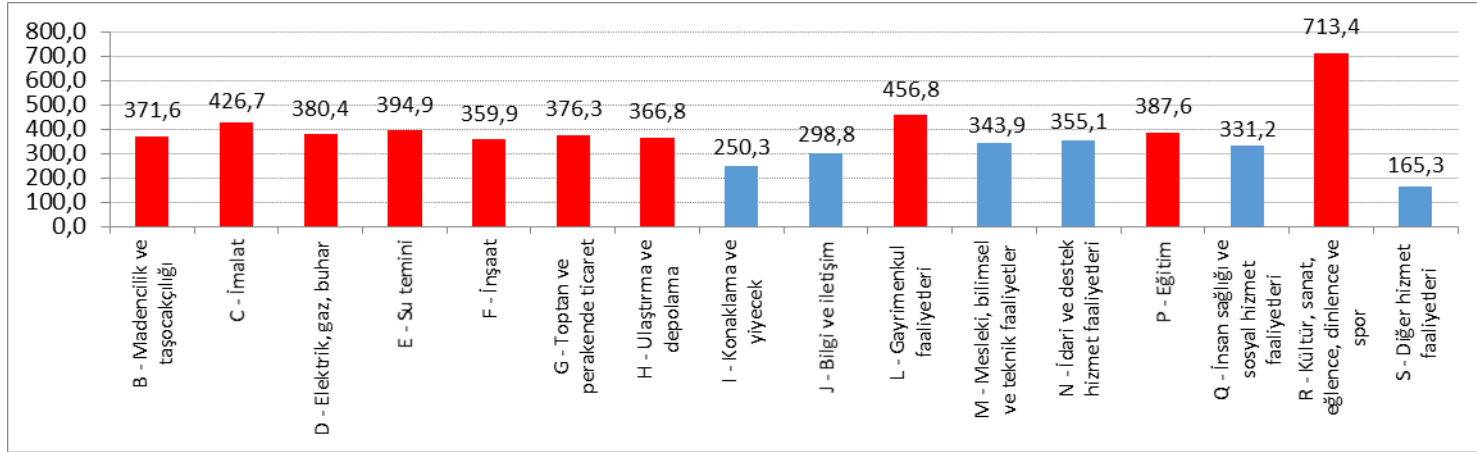
Tablo 1. Ekonomik faaliyet grupları bazında üretim değeri gelişimi

(Milyar TL)	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2010-2020 % Artış	2020 % Pay
B - Madencilik ve taş ocakçılığı	176	237	256	284	285	281	295	389	549	653	831	371.6	1.38
C - İmalat	5 388	7 122	7 718	8 662	9 970	11 168	12 205	15 748	21 038	23 655	28 379	426.7	47.06
D - Elektrik, gaz, buhar	889	1 011	1 274	1 595	1 796	1 972	1 981	2 277	2 892	3 510	4 272	380.4	7.08
E - Su temini	82	109	125	147	178	221	259	324	360	364	404	394.9	0.67
F - İnşaat	1 270	1 668	1 960	2 522	2 888	3 365	4 057	5 136	6 101	5 532	5 841	359.9	9.69
G - Toptan ve perakende ticaret	1 498	1 835	2 037	2 342	2 674	3 082	3 520	4 358	5 289	6 120	7 134	376.3	11.83
H - Ulaştırma ve depolama	991	1 256	1 465	1 643	1 915	2 189	2 423	3 005	3 782	4 524	4 626	366.8	7.67
I - Konaklama ve yiyecek	359	457	524	612	715	813	819	1 037	1 397	1 734	1 259	250.3	2.09
J - Bilgi ve iletişim	446	512	577	643	704	791	906	1 065	1 253	1 445	1 780	298.8	2.95
L - Gayrimenkul faaliyetleri	113	147	181	213	245	260	286	345	502	577	631	456.8	1.05
M - Mesleki, bilimsel ve teknik faaliyetler	374	460	509	589	676	794	913	1 095	1 221	1 401	1 659	343.9	2.75
N - İdari ve destek hizmet faaliyetleri	349	445	514	628	774	928	1 035	1 359	1 674	1 983	1 589	355.1	2.63
P - Eğitim	79	91	110	135	167	193	226	265	316	375	384	387.6	0.64
Q - İnsan sağlığı ve sosyal hizmet faaliyetleri	143	176	199	231	265	301	339	390	464	564	619	331.2	1.03
R - Kültür, sanat, eğlence, dinlence ve spor	93	116	140	164	187	207	229	264	314	476	756	713.4	1.25
S - Diğer hizmet faaliyetleri	54	65	67	66	68	82	91	109	126	141	143	165.3	0.24
Toplam	12,305	15,707	17,657	20,475	23,508	26,647	29,584	37,170	47,278	53,055	60,305		

Kaynak: TÜİK [1]



Şekil 1. 2020 yılı üretim değerinin ekonomik faaliyet gruplarına göre dağılımı



Şekil 2. Ekonomik faaliyet gruplarına göre 2010-2020 döneminde ekonomik faaliyet gruplarının üretim artış hızları

Adım 1: Karar matrisi oluşturulur

Satırlarında sıralanacak alternatifler, kolonlarında değerlendirme kriterlerinin yer aldığı karar matrisi oluşturularak TOPSIS yöntemi uygulama adımlarına başlanmıştır.

Alternatif	Kriter	
	y ₁	y ₂
a ₁	a ₁₁	a ₁₂
a ₂	a ₂₁	a ₂₂
a ₃	a ₃₁	a ₃₂
⋮	⋮	⋮
a _m	a _{m1}	a _{m2}

$$A_{ij} = \begin{matrix} y_3 & \dots & y_n \\ a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{23} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & & \cdot \\ \cdot & & \cdot \\ \cdot & & \cdot \\ a_{m3} & \dots & a_{mn} \end{matrix} \quad (1)$$

Adım 2: Normalize karar matrisi oluşturulur

Karar matrisi oluşturulduktan sonra, i=1,2,...,m farklı alternatif sayısı, j=1,2,...,n kriter sayısı olmak üzere Eş. (2) kullanılarak, karar matrisi normalize edilir.

$$a_{ij}^* = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}} \quad (2)$$

Adım 3: Ağırlıklı normalize karar matrisi oluşturulur

İlk olarak her bir değerlendirme kriteri için ağırlıklı değerleri (w_j) 1: en düşük, 10: en yüksek değer olacak şekilde 1-10 arasında belirlenir. Ardından, atanmış olan ağırlıklı değerleri toplam ağırlık puanına bölünerek normalize edilir. Burada önemli olan nokta $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ şartının sağlanmasıdır. Ardından normalize matrisin her bir elemanı ilgili değerlendirme kriteri ağırlığı ile çarpılarak ağırlıklı karar matrisi (V) oluşturulur:

$$V = \begin{bmatrix} w_1 a_{11} & w_2 a_{12} & \dots & w_n a_{1n} \\ w_1 a_{21} & w_2 a_{22} & \dots & w_n a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ w_1 a_{m1} & w_2 a_{m2} & \dots & w_n a_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ v_{m1} & v_{m2} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Adım 4: İdeal çözümler elde edilir

Pozitif (A*) ve negatif ideal (A-) çözümler Eş. (4) ve (5) kullanılarak bulunur.

$$A^* = \left\{ (\max_i v_{ij} | i \in I), (\min_i v_{ij} | i \in I') \right\} \quad (4)$$

$$A^- = \left\{ (\min_i v_{ij} | i \in I), (\max_i v_{ij} | i \in I') \right\} \quad (5)$$

Eşitliklerde, I kazanç türü kriter setini ve I' maliyet türü kriter setini ifade etmektedir.

Adım 5: İdeal çözümlere uzaklıklar hesaplanır

İdeal ve negatif ideal çözümlere her bir alternatifin uzaklığı Eş. (6) ve Eş. (7) kullanılarak hesaplanır.

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (6)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (7)$$

Eşitliklerde v_j^{*}, j kriteri için pozitif ideal değer, v_j⁻ ise negatif ideal değerdir.

Adım 6: Sıralama puanları belirlenir

Eş. (8) kullanılarak sıralama puanları hesaplanır ve alternatifler en yüksek puanlıdan en düşük puanlıya doğru sıralanırlar.

$$C_i^* = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad i=1, \dots, m. \quad (8)$$

ORTA VE İLERİ TEKNOLOJİ İMALAT SEKTÖRLERİNİN MAKRO EKONOMİK VERİLERE GÖRE SIRALANMASI

Bu bölümde öncelikle, 11. Kalkınma planında belirlenmiş olan Yüksek Teknoloji (Y) ve Orta-Yüksek teknoloji (OY) üretimi yapan imalat sektörleri (Tablo 2) ile son on yılda Türkiye ekonomisinin üretim değerine yüksek katkı yapan bilişim, bilgisayar ve iletişim teknolojilerine ait ekonomik faaliyet gruplarının temel makro-ekonomik verileri derlenmiştir.

Orta-yüksek ve yüksek teknoloji ürünü üreten sektörlerin ana sektörleri ile birlikte, çalışmanın birinci bölümünde sunulan ve çok yüksek düzeyde üretim artışı gösteren, “Telekomünikasyon”, “Bilgisayar programlama, danışmanlık ve ilgili faaliyetler”, “Bilgi hizmet faaliyetleri” ekonomik grupları da diğer rakip sektörler olarak değerlendirmeye katılmış ve Tablo 3 oluşturulmuştur. Karar matrisi olarak düzenlenen Tablo 3, TOPSIS yönteminin ilk adımı olarak alınarak, yöntemin diğer adımları işletilmiş ve sıralama sonuçları bulunmuştur. TOPSIS yöntemiyle ekonomik faaliyet grupları farklı senaryolara göre kendi aralarında makro-ekonomik

verilere göre makroekonomik gösterge performansları baz alınarak sıralanmıştır. Burada kriter ağırlıkları atanırken, en düşük kriter puanı 5 puan olacak şekilde bir değerlendirme yapılmıştır. Kriterler ülkenin üretim ve rekabet gücünü etkileme düzeylerine göre değerlendirme yapılarak atanmıştır. Senaryo analizlerinde ise ilgili senaryodaki başarıyı etkileyecek olan kriterlere en üst puanlar verilip, diğerleri daha düşük puanda tutularak bir sıralama yapılmıştır.

Tablo 2. İmalat sanayinin NACE Rev.2- 3 haneli bölümlerine göre yüksek teknoloji sınıflaması

NACE Kodu	Yüksek teknoloji
21	Temel eczacılık ürünlerinin ve eczacılığa ilişkin malzemelerin imalatı
26	Bilgisayarların, elektronik ve optik ürünlerin imalatı
30.3	Hava taşıtları ve uzay araçları ile bunlarla ilgili makinelerin imalatı
	Orta-yüksek teknoloji
20	Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı
25.4	Silah ve mühimmat(cephane) imalatı
27	Elektrikli teçhizat imalatı
28	Başka yerde sınıflandırılmamış makine ve ekipman imalatı
29	Motorlu kara taşıtı, treyler (römork) ve yarı treyler (yarı römork) imalatı
30-(30.1+30.3)	Diğer ulaşım araçlarının imalatı (gemi ve tekne yapımı ile hava taşıtları ve uzay araçları ile bunlarla ilgili makinelerin imalatı hariç)
32.5	Tıbbi ve dişçilik ile ilgili araç ve gereçlerin imalatı

Yapılan analiz sonucunda; TOPSIS yöntemi sonuçlarına göre, makroekonomik göstergeler bazında 12 sektör içerisinde ilk 6 sırayı alan sektörler aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

- Bilgisayar programlama, danışmanlık ve ilgili faaliyetler,
- Bilgi hizmeti faaliyetleri,
- Motorlu kara taşıtı, treyler (römork) ve yarı treyler (yarı römork) imalatı,
- Bilgisayarların, elektronik ve optik ürünlerin imalatı, (Elektronik bileşen ve kartların imalatı, iletişim ekipmanlarının imalatı, tüketici elektroniği üretimi optik enstrümanlar ve fotoğrafik ekipmanlar imalatı),
- Başka yerde sınıflandırılmamış makine ve ekipman imalatı, (Uçak ve içten yanmalı araç motorları dışındaki motor ve türbinlerin imalatı,

kaldırma ve taşıma araçlarının imalatı, metal işleme ve takım tezgahlarının imalatı vb.)

- Temel eczacılık ürünlerinin ve eczacılığa ilişkin malzemelerin imalatı.

TARTIŞMA

TOPSIS yönteminde kriter ağırlıklarındaki değişiklikler sıralama sonuçlarını değiştirmektedir. Bu nedenle bu bölümde farklı senaryolar bazında farklı kriter ağırlıkları kullanılarak TOPSIS yöntemi tekrarlanmış ve Tablo 4'teki sıralama sonuçları elde edilmiştir. Elde edilen senaryo analizi sıralamalarının birinci kartil (quartile/çeyrek) değerleri elde edilerek tüm sıralamaların tek bir değere yansıtılması ve buna göre tüm senaryoları kapsayacak bir sıralamanın elde edilmesi hedeflenmiştir.

Kartiller, bir veri setini dört eşit parçaya bölen değerlerdir:

1. Kartil (Q1): Verilerin %25'i bu değere eşit veya bu değerden daha düşüktür.
2. Kartil (Q2): Medyanı ifade eder. Verilerin %50'si bu değere eşit veya bu değerden daha düşüktür.
3. Kartil (Q3): Verilerin %75'i bu değere eşit veya bu değerden daha düşüktür.

Kartil değerleri bir veri kümesinin yayılımını ve merkezi eğilimini hızlı bir şekilde değerlendirmeye yardımcı olur. Excel'in "DÖRTTEBİRLİK" fonksiyonu kullanılarak Q1 değerleri hesaplanmış ve Tablo 4'de sunulmuştur. Buna göre elde edilen ilk 6 sıra aşağıdaki gibi oluşmaktadır:

- Bilgisayar programlama, danışmanlık ve ilgili faaliyetler
- Bilgi hizmet faaliyetleri
- Motorlu kara taşıtı, treyler (römork) ve yarı treyler (yarı römork) imalatı
- Bilgisayarların, elektronik ve optik ürünlerin imalatı
- Temel eczacılık ürünlerinin ve eczacılığa ilişkin malzemelerin imalatı
- Başka yerde sınıflandırılmamış makine ve ekipman imalatı.

Tablo 4 incelendiğinde sadece 5 ve 6. sıranın değiştiği görülmektedir. Bu durumun bir nedeni ilk 4 sektörün tüm makroekonomik verilerde yüksek değerlere sahip olmasıdır. Tablo 4'te dikkat çeken başka bir durum ise havacılık ve uzay sanayiini de içine alan diğer ulaşım araçlarının imalat sektörünün üretim artış oranı kriteri ağırlıklı senaryoda 3. sırayı almış olmasıdır. Bu durum bu sektörün önümüzdeki dönemlerde üretim artış hızını sürdürmesi durumunda genel sıralamalarda ilk 6 sektör arasına girme potansiyelinin bulunduğu bir göstergesi olarak yorumlanabilir.

Tablo 3. Ekonomik faaliyet gruplarının bazı makro-ekonomik verileri ve TOPSIS yöntemi sonuçları

		Ağırlık:	8	10	6	8	10	5										
		Normalize ağırlık:	0.170	0.213	0.128	0.170	0.213	0.106										
Teknoloji Sınıfı	*Ekonomik faaliyet alanı	*NACE Kodu	*Ücretli çalışan sayısı artışı (%)	*Üretim Değeri Artışı (%)	*Üzerinde değişiklik yapılmadan satılmak üzere alınan mal ve hizmetlerin satın alışı artışı (%)	*Üretim Değeri (Milyar TL)	*Girişim Sayısı Artış (%)	*Mal ve Hizmet Stokundaki değişim artışı(%)	Ağırlıklı normalize matris						d_i^+	d_i^-	C_i^+	Sıra
OY	Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı	20	69.01	645.66	871.27	157	16	730	0.0438	0.0576	0.0346	0.0614	0.0100	0.0154	0.1648	0.0970	0.3706	9
Y	Temel eczacılık ürünlerinin ve eczacılığa ilişkin malzemelerin imalatı	21	43.86	424.24	276.95	40	122	1899	0.0278	0.0379	0.0110	0.0156	0.0760	0.0400	0.1634	0.1099	0.4021	6
OY	Fabrikasyon metal ürünleri imalatı (makine ve teçhizat hariç)	25	70.7	666.1	777.79	184	18	590	0.0449	0.0594	0.0309	0.0719	0.0112	0.0124	0.1633	0.1041	0.3893	8
Y	Bilgisayarların, elektronik ve optik ürünlerin imalatı	26	102.86	618.31	210.74	48	71	3289	0.0653	0.0552	0.0084	0.0188	0.0442	0.0692	0.1576	0.1239	0.4402	4
OY	Elektrikli teçhizat imalatı	27	78.15	532.54	552.25	159	48	623	0.0496	0.0475	0.0219	0.0622	0.0299	0.0131	0.1584	0.1010	0.3895	7
OY	Başka yerde sınıflandırılmamış makine ve ekipman imalatı	28	83.01	734.53	867.19	146	44	638	0.0527	0.0655	0.0344	0.0571	0.0274	0.0134	0.1498	0.1088	0.4208	5
OY	Motorlu kara taşıtı, treyler (römork) ve yarı treyler (yarı römork) imalatı	29	72.01	669.01	397.47	258	48	1828	0.0457	0.0597	0.0158	0.1009	0.0299	0.0385	0.1470	0.1341	0.4771	3
Y	Diğer ulaşım araçlarının imalatı	30	55.46	827.18	445.98	45	52	1719	0.0352	0.0738	0.0177	0.0176	0.0324	0.0362	0.1676	0.0967	0.3658	10
OY	Diğer İmalatlar (Tıbbi ve dişçilik ile ilgili araç ve gereçlerin imalatı dahil)	32	42.41	137.98	341.28	34	-28	587	0.0269	0.0123	0.0135	0.0133	0.0174	0.0124	0.2276	0.0352	0.1338	12
N/A	Telekomünikasyon	61	-7.04	210	293.74	88	3	64	-0.0045	0.0187	0.0117	0.0344	0.0019	0.0013	0.2215	0.0375	0.1446	11
N/A	Bilgisayar programlama, danışmanlık ve ilgili faaliyetler	62	148.7	1006.03	1101.25	55	209	1649	0.0944	0.0898	0.0437	0.0215	0.1302	0.0347	0.1023	0.2007	0.6623	1
N/A	Bilgi hizmet faaliyetleri	63	66.6	1109.65	2458.23	8	206	290	0.0423	0.0990	0.0975	0.0031	0.1283	0.0061	0.1275	0.1973	0.6074	2
		$\sum_{i=1}^m a_{ij}^2$	268.18	2384.19	3218.30	435.41	341.56	5054.54	$\sqrt{0.0944}$	$\sqrt{0.0990}$	$\sqrt{0.0975}$	$\sqrt{0.1009}$	$\sqrt{0.1302}$	$\sqrt{0.0692}$				
									$\sqrt{-0.0045}$	$\sqrt{0.0123}$	$\sqrt{0.0084}$	$\sqrt{0.0031}$	$\sqrt{0.0174}$	$\sqrt{0.0013}$				

Kaynak: TÜİK [1]; $\sqrt{A_i^}$; $\sqrt{A_i^-}$

Tablo 4. Ekonomik Faaliyet gruplarının farklı senaryolara göre performans sıralaması analizi

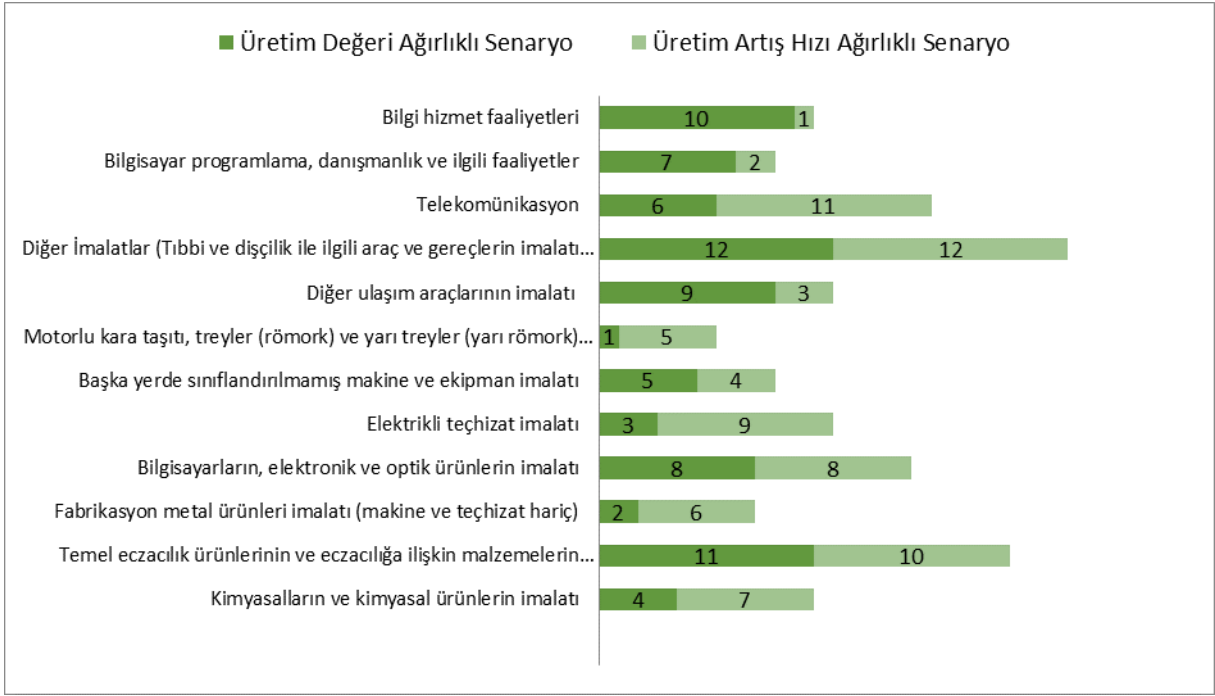
Tek. Sınıfı	Ekonomik faaliyet grubu (sektör)	Üretim Değeri Ağırlıklı Senaryo	Üretim Artış Hızı Ağırlıklı Senaryo	İstihdam ve Girişim Kriteri Ağırlıklı Senaryo	Ekonomik hareketlilik	Eşit Ağırlıklı Senaryo	Orijinal Sıralama	1.Çeyrek (Kartil-Q1) Değeri	Sıra
OY	Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı	4	7	10	8	8	9	7.25	10
Y	Temel eczacılık ürünlerinin ve eczacılığa ilişkin malzemelerin imalatı	11	10	4	4	6	6	4.5	5
OD	Fabrikasyon metal ürünleri imalatı (makine ve teçhizat hariç)	2	6	9	10	7	8	6.25	8
Y	Bilgisayarların, elektronik ve optik ürünlerin imalatı	8	8	3	3	4	4	3.25	4
OY	Elektrikli teçhizat imalatı	3	9	6	9	9	7	6.25	8
OY	Başka yerde sınıflandırılmamış makine ve ekipman imalatı	5	4	5	7	5	5	5	6
OY	Motorlu kara taşıtı, treyler (römork) ve yarı treyler (yarı römork) imalatı	1	5	7	5	3	3	3	3
Y	Diğer ulaşım araçlarının imalatı	9	3	8	6	10	10	6.5	9
OY	Diğer İmalatlar (Tıbbi ve dişçilik ile ilgili araç ve gereçlerin imalatı dahil)	12	12	11	11	11	12	11	12
N/A	Telekomünikasyon	6	11	12	12	12	11	11	12
N/A	Bilgisayar programlama, danışmanlık ve ilgili faaliyetler	7	2	1	2	1	1	1	1
N/A	Bilgi hizmet faaliyetleri	10	1	2	1	2	2	1.25	2

Diğer taraftan, Şekil 3'te üretim değeri ağırlıklı senaryo ile üretim artış hızı ağırlıklı senaryoların sıralama sonuçları aynı grafik üzerinde gösterilmiştir. Buna göre, üretim değeri ağırlıklı sıralama ile üretim artış hızı ağırlıklı sıralamalar arasında tutarlı bir ilişki gözükmemektedir. Örneğin bilgi hizmetleri sektörü üretim değeri ağırlıklı senaryoda 10. sırada yer alırken, üretim artış hızı ağırlıklı senaryoda 1. sırada yer almıştır. Diğer taraftan, elektrikli teçhizat imalatı sektörü üretim değeri ağırlıklı senaryoda 3. sırada iken, üretim artış hızı ağırlıklı senaryoda 9. sırada yer almıştır. Buna göre üretim değeri ağırlıklı senaryoda ortanın altında yer alan bilgi hizmet faaliyetleri, bilgisayar programlama ve diğer ulaşım araçları imalatı sektörleri üretim artış hızı ağırlıklı senaryolarda ilk sıralarda yer alabilmişlerdir. Şekil 4'te verilen grafikte ise ekonomik hareketlilik ağırlıklı senaryo ile istihdam ve girişimcilik kriteri ağırlıklı senaryoda hemen hemen aynı sıralamalar elde edilebildiği görülmektedir.

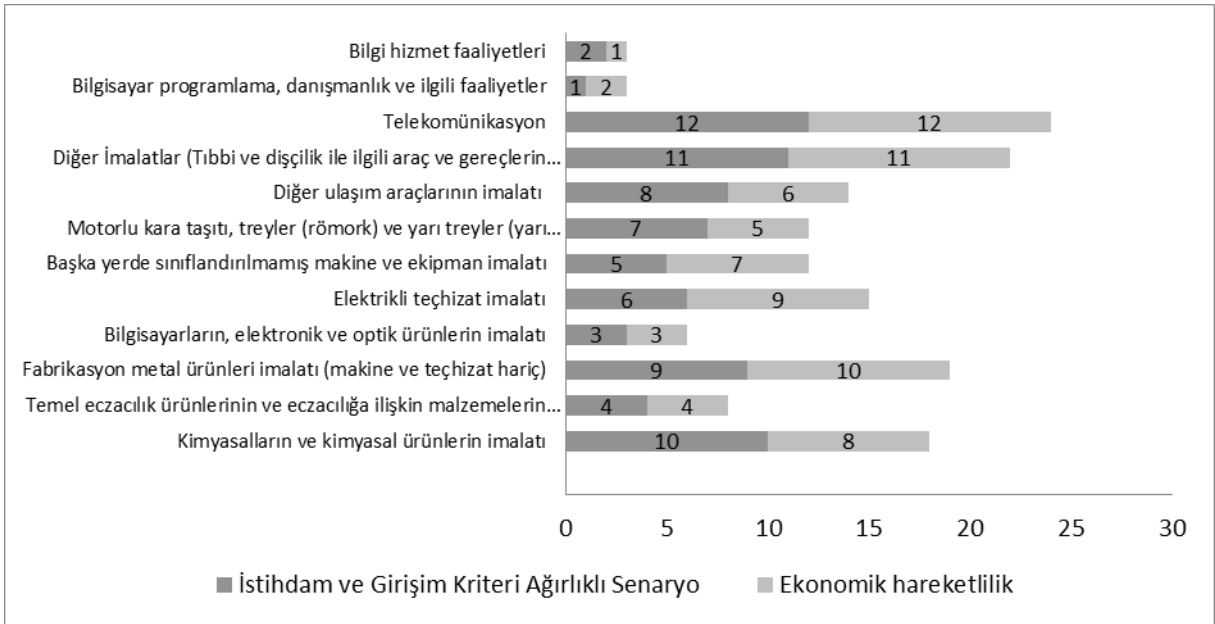
Bu durumun analiz edilmesine yönelik olarak, kriter değerleri için MINITAB 14 programı kullanılarak korelasyon analizi yapılmıştır (Şekil 5). MINITAB programının korelasyon analizi aracı, ikiden fazla değişken olduğunda, korelasyon matrisinin alt üçgeninde korelasyon katsayılarını ekranda gösterir.

Örneğin Şekil 5'te, b ve a kriterleri arasındaki Pearson korelasyonu 0,660, c ve a arasında 0,262 ve c

ve b arasında 0,727'dir. MINITAB, ayrıca p değerlerini yazdırır. P değerlerinin %95 güven düzeyi için 0,05'ten küçük olması ($\alpha \leq 0,05$), korelasyonların sıfır olmadığına dair yeterli kanıt gösterir. Buna göre; b ile a, c ile b, e ile b, ve e ile c kriter değerleri arasında korelasyon bulunduğu Şekil 5'ten izlenebilmektedir. Bu durumda, TOPSIS sonuçlarında ekonomik hareketlilik ağırlıklı senaryo ile istihdam ve girişimcilik kriteri ağırlıklı senaryoda hemen hemen aynı sıralamaların elde edilebilmiş olması doğaldır. Çünkü aralarında korelasyon bulunan kriterler (c ile e) aynı senaryolarda yüksek ağırlık değerleri ile TOPSIS yönteminde kullanılmıştır. TOPSIS yönteminde kriterlerin birbirinden bağımsız olması gerekmektedir. Bu nedenle bu koşulu sağlamak üzere b ve c kriterleri değerlendirmeden çıkartılarak diğer kriterlerle ve aynı kriter ağırlıkları kullanılarak yeniden sıralama yapılmıştır. Bu durumda Şekil 5'e göre a, d, e ve f kriterleri arasında korelasyon bulunmadığından bağımsız bir kriter seti elde edilebilmiştir. Elde edilen yeni sıralama sonuçları orijinal sıralama sonuçları ile karşılaştırılmıştır (Şekil 6). Elde edilen yeni sıralama ile orijinal sıralama arasında önemli bir farklılık gözlenmemektedir. Buna göre, çalışmada ulaşılan sıralama sonuçlarının kullanılabilir nitelikte olduğu söylenebilir. Öte yandan, b ve d kriterleri arasında korelasyon bulunmadığı için, üretim değeri kriteri (d) ağırlıklı senaryo ile, üretim artış hızı kriteri (b) ağırlıklı senaryolarda farklı sıralama sonuçlarının elde edilmesi de beklenen bir sonuç olmaktadır.



Şekil 3. Üretim kriteri ağırlıklı senaryoların değerlendirilmesi



Şekil 4. İstihdam ve ekonomik hareketlilik kriteri ağırlıklı senaryoların değerlendirilmesi

Correlations: a; b; c; d; e; f*

	a	b	c	d	e
b	0,660 0,020				
c	0,262 0,411	0,727 0,007			
d	0,051 0,875	-0,051 0,875	-0,228 0,476		
e	0,545 0,067	0,744 0,005	0,650 0,022	-0,425 0,168	
f	0,462 0,130	0,151 0,640	-0,398 0,200	-0,127 0,695	0,226 0,479

Cell Contents: Pearson correlation
P-Value

*a: Ücretli çalışan sayısı artışı

*b: Üretim Değeri Artışı

*c: Üzerinde değişiklik yapılmadan satılmak üzere alınan mal ve hizmetlerin satın alışı artışı

*d: Üretim Değeri

*e: Girişim Sayısı Artış

*f: Mal ve Hizmet Stokundaki değişim artışı

Şekil 5. Kriter değerleri için korelasyon analizi MINITAB çıktısı

SONUÇLAR

Bu çalışmada Türkiye ekonomisinin son 10 yıllık periyodunda aktif olan orta yüksek ve yüksek teknoloji ürünleri üreten imalat sektörlerinin bir değerlendirilmesi sunulmuştur. İlgili sektörler alternatif, makroekonomik göstergeler ise kriter olarak alınarak TOPSIS yöntemi ile bir sıralama yapılmış, sektörler gelişme potansiyeli en yüksek olandan en düşük olana doğru sıralanmaya çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, geçtiğimiz 10 yıllık periyotta gerek üretim artışı, gerekse ekonomik hareketlilik açısından en fazla öne çıkan sektörlerin temelinde bilgisayar programlama, motorlu kara taşıtları, bilgisayar, elektrikli ve optik aletler üretimi ve temel eczacılık ürünlerinin imalatı sektörleri (ekonomik grupları) olduğu gözlenmektedir. Bu çalışmada kullanılan NACE sınıflaması genel sektör sınıflamasını temsil etmekte olup, alt sektör veya ürün bazlı detaya yönelik bir çalışmayı yansıtmamaktadır.

İleriki çalışmalarda bu çalışmada belirlenen temel sektörler bazında alt sektör gruplarının kendi aralarında bir sıralaması yapılabilir. Bu tür bir sıralama halen sektörde aktif rol üstlenen ve ileride bu aktivitesini daha da ileriye taşıyabilecek olan alt sektörlerin tespit edilebilmesini sağlayabilecektir. Yapılacak olan değerlendirmelerde birbirinden bağımsız kriterlerle değerlendirme yapılmalıdır. Bu sayede kriter ağırlıklarının sonuçlara yansımaları daha anlamlı hale gelebilecektir.

EVALUATION OF THE PERFORMANCE OF THE MANUFACTURING SECTORS PRODUCING MEDIUM AND HIGH TECHNOLOGY PRODUCTS IN THE LAST TEN YEARS

In parallel with the economic developments, the development of the manufacturing sectors continues. The Turkish economy has been focusing on the production of high-tech products and their exporting in the last ten years. In this context, manufacturing sectors are grouped as a low, medium, and high technology producing sectors and especially

the sectors producing high technology products are tried to be supported. We evaluate the performance of the manufacturing sectors that produce medium and high technology. We analyzed the macroeconomic indicators of the Turkish manufacturing sectors in the last ten years. For this purpose, the TOPSIS method, one of the multi-criteria decision-making methods, was used to rank the Turkish manufacturing sectors. With the TOPSIS method, alternative manufacturing sectors are ranked according to different scenarios based on macroeconomic indicators.

Keywords: Manufacturing sectors, Turkish economy, high-tech products, TOPSIS.

KAYNAKLAR

1. Türkiye İstatistik Kurumu- TÜİK. <https://data.tuik.gov.tr/>
2. Vieira, L. C., Longo, M., & Mura, M. (2021). Are the European manufacturing and energy sectors on track for achieving net-zero emissions in 2050? An empirical analysis. *Energy Policy*, 156, 112464.
3. Chaurey, S., Kalpande, S. D., Gupta, R. C., & Toke, L. K. (2021). A review on the identification of total productive maintenance critical success factors for effective implementation in the manufacturing sector. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, (In Press). DOI 10.1108/JQME-11-2020-0118
4. Jin, Z., Hewitt-Dundas, N., & Thompson, N. J. (2004). Innovativeness and performance: evidence from manufacturing sectors. *Journal of Strategic Marketing*, 12(4), 255-266.
5. Terziowski, M. (2010). Innovation practice and its performance implications in small and medium enterprises (SMEs) in the manufacturing sector: a resource-based view. *Strategic Management Journal*, 31(8), 892-902.
6. Dewangan, D. K., Agrawal, R., & Sharma, V. (2015). Enablers for competitiveness of Indian manufacturing sector: an ISM-fuzzy MICMAC analysis. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 189, 416-432.
7. Bickauske, D., Simanaviciene, Z., Jakubavicius, A., Vilys, M., & Mykhalchyshyna, L. (2020). Analysis and perspectives of the level of enterprises digitalization (Lithuanian manufacturing sector case). *Independent Journal of Management & Production*, 11(9), 2291-2307.
8. Yurdakul, M., & İç, Y. T. (2018). Development of a multi-level performance measurement model for manufacturing companies using a modified version of the fuzzy TOPSIS approach. *Soft Computing*, 22(22), 7491-7503.
9. İç, Y. T., & Yurdakul, M. (2021). Development of a new trapezoidal fuzzy AHP-TOPSIS hybrid approach for manufacturing firm performance measurement. *Granular Computing*, 6(4), 915-929.
10. Mandal, P., & Bagchi, K. (2016). Strategic role of information, knowledge and technology in manufacturing industry performance. *Industrial Management & Data Systems*, 116(6)1259-1278.
11. Kwak, J. K. (2019). Analysis of inventory turnover as a performance measure in manufacturing industry. *Processes*, 7(10), 760.
12. Bhatia, M. S., & Kumar, S. (2020). Critical success factors of Industry 4.0 in automotive manufacturing industry. *IEEE Transactions on Engineering Management*, (In Press). DOI: 10.1109/TEM.2020.3017004.
13. Xu, J., & Li, J. (2022). The interrelationship between intellectual capital and firm performance: evidence from China's manufacturing sector. *Journal of Intellectual Capital* 23(2)313-341.
14. Abdel-Basset, M., Ding, W., Mohamed, R., & Metawa, N. (2020). An integrated plithogenic MCDM approach for financial performance evaluation of manufacturing industries. *Risk Management*, 22(3), 192-218.
15. Yasmin, M., Tatoglu, E., Kilic, H. S., Zaim, S., & Delen, D. (2020). Big data analytics capabilities and firm performance: An integrated MCDM approach. *Journal of Business Research*, 114, 1-15.
16. Gavalas, D., Syriopoulos, T., & Tsatsaronis, M. (2021). Assessing key performance indicators in the shipbuilding industry; an MCDM approach. *Maritime Policy & Management*, 1-29.
17. Kung, J. Y., Chuang, T. N., & Ky, C. M. (2011). A fuzzy MCDM method to select the best company based on financial report analysis. In 2011 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE 2011) (pp. 2013-2017). IEEE.
18. Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). Methods for multiple attribute decision making. In Multiple attribute decision making (pp. 58-191). Springer, Berlin, Heidelberg.

Nesij Ünal 

Gelişmiş Hava Aracı Konseptleri
Teknolojileri Merkezi
Türk Havacılık ve Uzay Sanayii
Ankara

Yahya Öz 

İleri Kompozit Malzemeler
Teknoloji Merkezi
Türk Havacılık ve Uzay Sanayii
Ankara

Makale Bilgisi:

Araştırma Makalesi

Gönderilme: 29.06.2022

Kabul: 16.01.2022

*Sorumlu Yazar: Yahya Öz

Email: yahya.oz@tai.com.tr

DOI: 10.56193/matim.1137833

Helikopter Ürün Konumlandırma ve AHP/TOPSIS Yöntemi

Bu çalışmada helikopter ürün konumlandırma için yenilikçi bir metod önerilmekle birlikte son kullanıcıdan müşteri kurum / kuruluşa kadar tüm katılımcıların çalışmaya dahil edilerek ve helikopterlerin sahip olduğu niteliklerin analiz edilmesi, niteliklerin önem sırasına göre ağırlıklandırılması, rakip ürünlerin niteliklerinin araştırılması ve ilgili bir ürünün pazardaki konumunun belirlenmesi hedeflenmiştir. Genel maksat helikopterleri kullanım amaçlarına göre farklı gruplarda değerlendirilmekte olup ihtiyaç makamının önceliklerine göre pazarda teknik olarak en öne çıkan marka / modelin sistematik bir şekilde tespit edilmesi hedeflenmiştir.

Bu işlemler gerçekleştirilirken Analitik Hiyerarşik Proses (AHP) ve TOPSIS olarak bilinen ağırlıklandırma ve karar destek metodolojileri kullanılmış olup ürün niteliklerine ve ihtiyaçlara göre bir ürün önceliklendirme süreci geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: AHP, Genel Maksat Helikopteri, Helikopter Ürün Konumlandırma, TOPSIS, Ürün Analizi

Atıf şekli/How to cite: Ünal N., Öz Y., Helikopter Ürün Konumlandırma ve AHP/TOPSIS Yöntemi. Makina Tasarım ve İmalat Dergisi, 2022; 20(2): 61-70.

GİRİŞ

Helikopter teknolojileri gün geçtikte gelişmekte olup artık ülkelerin envanterinde bulunan çok güçlü operasyonel bir hava aracına dönmüştür. Havada asılı kalma (hover) ve bir çok araziye iniş kalkış yapma özelliği ile operasyon sahasındaki etkinliği de sürekli artmaktadır [1].

Günümüzde farklı amaçlar için farklı döner kanat platformları geliştirilmektedir. Kara hedeflerini imha etmek için taarruz helikopteri, askeri nakliyat için transport helikopterleri, yaralı ve hasta taşınması için ambulans helikopterleri, yangınlara müdahale etmek için yangın söndürme helikopterleri gibi bir çok sınıfta helikopter geliştirilmiştir.

Her ihtiyaç için ayrı bir platform geliştirmek oldukça maliyetli bir yöntem olmakla birlikte artık günümüzde taarruz helikopteri dışındaki tüm ihtiyaçlar için revize edilebilir ve konfigüre edilebilir tek bir platform geliştirilmektedir [2,3]. Helikopterin kullanılacağı alana göre rekonfigüre edilebilir olan bu araçlar; motor, rotor ve transmisyon olarak ortak sistem kullanmakta olup helikopterin amacına göre diğer ek sistemleri seçilmekte ve araca yüklenmektedir. Helikopterin en maliyetli ve geliştirilmesi en zor olan bu kısmına “drive train”

denir ve ortak bir platform üzerinden geliştirilmesi hava aracı maliyetlerini oldukça düşürmektedir [4].

Bir çok amaca hizmet etmek üzere geliştirilen helikopter “Genel Maksat” helikopteri olarak adlandırılır. Türkiye’de iki adet genel maksat helikopteri geliştirilmesi projesi hali hazırda yürütülmektedir [5,6]. Genel maksat helikopterin kullanım amaçları ve varyantları aşağıdaki gibidir;

- **HEMS / MEDEVAC** (Health And Emergency Medical Services): Hava ambulansı amaçlı olarak kullanılan konfigürasyondur. Hem devlet kurumları hem de özel sektör HEMS işletmeciliği yapabilir. MEDEVAC, askeri ambulans konfigürasyonuna verilen isimdir.

- **SAR / CSAR** (Search And Rescue, Combat Search And Rescue): Arama kurtarma görevleri için oluşturulan konfigürasyondur. Dağ, deniz, kayalık, orman ve benzeri yapılardan tahliye amacıyla kullanıldığı gibi muharebe alanından askeri personel ya da sivillerin sevki için de kullanılabilir.

- **Firefighting**: Yangınla mücadele amacıyla oluşturulan konfigürasyondur. Çoğunlukla orman yangınlarında kullanılmakla birlikte tesis ya da bina yangınlarında da kullanılabilir.

• **Law Enforcement:** Emniyet amacıyla Polis ya da Jandarma'nın kullandığı helikopter varyantıdır. Sınır güvenliği, şehir üstü uçuş ve devriye, hava takip ya da eskort gibi görevler için kullanılır.

• **Offshore:** Deniz ötesi ticari operasyonlar için kullanılan konfigürasyondur. Çoğunlukla petrol, gaz ve rüzgâr enerjisi santrallerine personel ve malzeme ikmali için kullanılır.

• **VIP / Corporate / Airtaxi:** VIP taşımacılık, hava taksi işletmeciliği ya da turistik amaçlı kullanılan konfigürasyondur.

• **Navy:** Deniz Kuvvetleri Komutanlığı'nın deniz altı / deniz üstü av, radar / sonar tarama ve istihbarat, havadan denize muharebe görevlerinde kullandığı ve gemiye iniş kalkış özelliği olan konfigürasyondur.

• **Maritime / Seapatrol / Costguard:** Sahil Güvenlik Komutanlığı'nın sınır güvenliği, deniz devriye ve arama / kurtarma operasyonları için kullandığı konfigürasyondur.

Genel maksat helikopterleri belirtildiği üzere sekiz ayrı amaç için üretilmektedir. Hibrit amaçlar için kullanılan genel maksat helikopteri konfigürasyonları da ayrıca mevcuttur. Hem SAR hem de HEMS amacıyla kullanılan UH-60 Black Hawk helikopteri en bilinen örneğidir.

Genel maksat helikopterleri farklı kullanım amaçları için farklı performanslar gösterebilir. Dolayısıyla kullanıcı makam için doğru marka ve modeli seçmek, çok girdili bir karar verme problemidir. Bu çoklu probleme; helikopterin son kullanıcısı olan pilotların, bakım ve işletme maliyetlerini karşılayan operatörün ve hava aracını geliştiren şirketin farklı girdileri olabilmektedir. Her birinin kendine göre farklı öncelikleri ve kısıtları bulunmakla birlikte karar mercinin bunları matematiksel bir modele dökmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP ve TOPSIS yöntemleri bu amaç için kullanılmıştır. AHP yöntemi ile kriterlerin ağırlıkları belirlenerek, TOPSIS yöntemi ile helikopter modelleri matematiksel olarak değerlendirilmiştir. Bu hibrit yöntem, literatürde oldukça fazla tercih edilen bir yöntem olmakla birlikte mevcut alternatiflerin fazla oluşu ve bu kriterlerin hiyerarşiler oluşturması ile karmaşıklaşan problemlerin ağırlıklandırma kısmında AHP, negatif ideal ve pozitif ideal çözüme olan uzaklıkları matematiksel olarak hesaplamada ise TOPSIS aktif olarak kullanılmaktadır [7]. Her iki yöntemin kombinasyonu iyi bir çözümdür zira bir yandan AHP kullanarak kriter ağırlıkları tanımlanır ve bir tutarlılık

indeksi kullanılır, diğer yandan TOPSIS yöntemi ile kriter değerleri ve optimizasyon türü belirlenir. Sonuç olarak, bu hibrit yöntem karar verirken öznelliği azaltır.

Bu çalışma, HEMS / MEDEVAC olarak isimlendirilen ambulans helikopteri varyantı için gerçekleştirilmiştir. İhtiyaç makamının, 5.000 – 7.000 kg MTOW (Maximum Take off Weight) kapasitesinde, yani orta sınıf helikopter sınıfına giren ambulans helikopterleri tedarik etmek istediği varsayılmıştır. İhtiyaca göre en uygun helikopteri seçmek için bu çalışma gerçekleştirilmektedir.

Bu örnek üstünde gösterilen sonuçlar, müşteri açısından ürün seçme algoritması sunmaktadır. Bu durum ise doğal olarak helikopterlerin özelliklerini etkilediğinden helikopter tasarımını, mekanik sistemlerin tasarımı ve analizini vb. birçok noktaya etki yaratmaktadır. Ayrıca, benzer çalışmalar farklı sektörler için de gerçekleştirilmiştir [8,9].

LİTERATÜR TARAMASI

Karar verme süreci genellikle birkaç alternatif arasında bir seçim yapmayı içerir. Karar vermedeki verimlilik, mümkün olduğunca en iyi sonuçları sunan alternatifini seçmekten ibarettir. Amaca ulaşmak için uygun alternatifler seçilen kriter ve niteliklere göre karşılaştırılır. Bu bağlamda çok kriterli karar analiz yöntemleri karar verme sürecini desteklemek için faydalıdır zira hem nicelik hem nitelik dikkate alırlar ve bu sayede çok disiplinli bir yaklaşım sunarlar [10].

AHP, literatürde bildirilen en fazla sayıda uygulamaya sahip en iyi bilinen ve yaygın olarak kullanılan karar verme araçlarından biri olarak kabul edilir [11]. Ayrıca askeri uçakların seçimi için kullanılmış bir metodolojidir [12].

TOPSIS ile ayrıca askeri hedeflerin tehdit sınıflandırmasını elde edilmiştir [13]. AHP ve TOPSIS metodolojilerinin bir kombinasyonunun benimsenmesi, değişkenlerin tanımlanmasını ve bilgilerin rasyonel bir analizini sağlar. Akademik literatür, AHP ve TOPSIS yöntemlerini birleştiren birçok uygulamayı içermektedir. Örneğin, askeri uçakların hava muharebesinin etkinliği [14], uçak [15] ve İnsansız Hava Aracı [16] seçimi için AHP ve TOPSIS teknikleri birleştirilmiştir.

Bu makalede sunulan modelleme, iki yöntemden oluşan hibrit modellemeye ek olarak, sonuçların normalizasyonunu içerir. Bu özellik, karar verme sürecine güvenlik, şeffaflık ve basitlik sağlayan bir duyarlılık analizine olanak tanır. Ayrıca, bu metodoloji literatürde ilk defa genel maksat helikopterleri için kullanılmaktadır.

METODOLOJİ

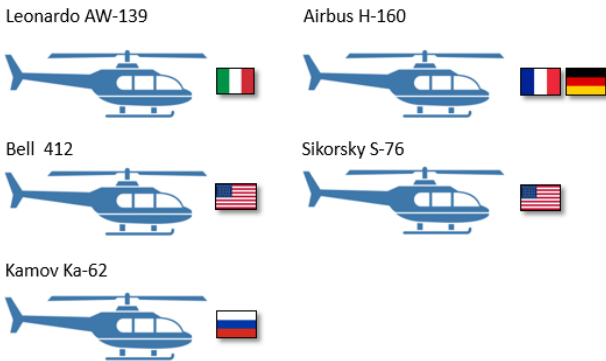
Segment ve Rakip Analizi

Öncelikle ihtiyaç makamının belirlediği MTOW aralığında bir araştırma yapılmış ve pazarın tüm modelleri belirlenmiştir.



Şekil 1. Firma-Ürün diyagramı

Şekil 1'deki diyagramda y eksen MTOW kapasitesini, x eksen ise genel maksat sınıfında üretim yapan üretici firmaları göstermektedir. Görüldüğü üzere bir markanın farklı ağırlıklarda birden fazla modeli bulunabilmektedir. Bunlar toplamında bir şirket için ürün gamını oluşturmaktadır. Problem tanımında 5.000 – 7.000 kg arası MTOW belirtildiği için bu sınıfa giren helikopterler çalışmaya tabi edilmiş, Şekil 1'deki diyagramda kırmızı çerçeve içerisinde gösterilmiştir. Bu aşamada ortaya çıkan ürün alternatifleri Airbus H160, Bell 412, AW139, AW159, Sikorsky S-76, Ka-52 ve T625 GÖKBAY şeklinde oluşmuştur (Şekil 2). Diyagramda kırmızı çerçeve içinde görünen diğer modeller, günümüzde artık üretimi olmayan eski model ürünlerdir. Bununla birlikte T625 Gökbeş'in henüz yayımlanmamış bilgileri bulunduğu için, bu çalışmaya dahil edilmemiştir.



Şekil 2. Hedef marka ve ürünler (temsili görsellerdir)

Hedef ürünler belirlendikten sonra literatür ve veritabanı taraması yapılmış olup ürün nitelikleri (seyir hızı (cruise speed), menzil (range), uçuş süresi (endurance), yer etkisinin dışında gezinme (HOGE),

yer etkisinde gezinme (HIGE), faydalı yük (useful load), işletme maliyeti (operational cost), tırmanma oranı (rate of climb), hacim (volume), azami kalkış ağırlığı (MTOW), motor gücü (engine power), yolcu sayısı (passenger), yakıt kapasitesi (fuel capacity), Hizmet tavanı (service ceiling), vb.) Tablo 1'deki gibi elde edilmiştir. Veriler elde edilirken öncelikli olarak firma katalog bilgileri, bulunamayan değerler için helikopter veritabanları, helikopter tanıtım siteleri ya da kiralama şirketlerinin verdiği değerler kullanılmıştır [17-31].

Tablo 1 oluşturulduktan sonra elde edilen tüm verilere göre radar diyagramı ve dağılım diyagramı çizilebilmekte, ürün kıyaslaması yapılabilmektedir.

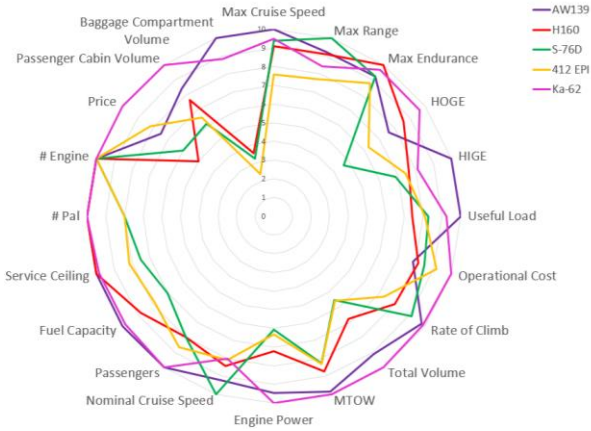
Tablo 1. Hedef marka ve ürünlerin nitelikleri

	Birim	AW139	H160	S-76D	412 EPI	Ka-62
Max Cruise Speed	km/h	306	278	287	232	290
Max Range	km	807	796	874	672	735
Max Endurance	hr	4	4,33	4	3,8	4,2
HOGE	m	2478	2804	1503	2042	3150
HIGE	m	4682	3566	3213	3475	3800
Useful Load	kg	2700	2000	2233	2191	2500
Operational Cost	\$/h	1924	1852	1778	1647	1507
Rate of Climb	m/sec	10,9	8,9	10,16	8,13	11
Total Volume	m ³	11,4	8,5	6,9	7	12,5
MTOW	kg	6400	5670	5386	5398	6500
Engine Power	kW	2504	1909	1606	1674	2649
Nominal Cruise Speed	km/h	202	184	219	177	175
Passengers	adet	15	12	12	13	15
Fuel Capacity	liters (kg)	1588 (1270)	1400 (1120)	1116 (893)	1251 (1001)	1563 (1250)
Service Ceiling	m	6096	6096	4572	4974	6000
# Pal	adet	5	5	4	4	5
# Engine	adet	2	2	2	2	2
Price	\$/	12	18	15	11	9
Passenger Cabin Vol.	m ³	8	7,3	5,8	6,2	9,5
Baggage Compartment Vol.	m ³	3,4	1,2	1,1	0,8	3

Tablodaki değerleri tek grafikte toplayabilmek için, nitelik bazında en yüksek olana 10 puan, diğer değerlere de doğru orantılı olarak puan ataması yapılarak değerler normalize edilmiştir. Ayrıca, "operational cost" ters orantılı olduğu için en düşük değere 10 puan atanmıştır.

Şekil 3'de normalize edilmiş değerler üzerinden bir radar diyagramı çizilmiştir. Bu grafiğin yorumu; merkeze yaklaştıkça performansın azalması, dış yüzeye yaklaştıkça performansın artması

yönündedir. Diyagramdan açıkça görüldüğü gibi mor çizginin temsil ettiği ürün (Ka-62) bariz bir şekilde üstünlük göstermiştir. Yine aynı mantıkla sarı çizginin temsil ettiği ürün (Bell-412) rakiplerine göre daha zayıf bir performans sergilemiştir.



Şekil 3. Normalize edilmiş değerlerle oluşturulan Radar Diyagramı

Bu grafiğin amacı nitelik bazından pazar liderini görebilmektir. x eksenini nitelikler y eksenini ise nitelik puanıdır. Örnek vermek gerekirse “ faydalı yük (useful load)” niteliğinin pazar lideri AW139 iken, aynı nitelikte pazarın en güçsüz oyuncusu H160’dır.

AHP

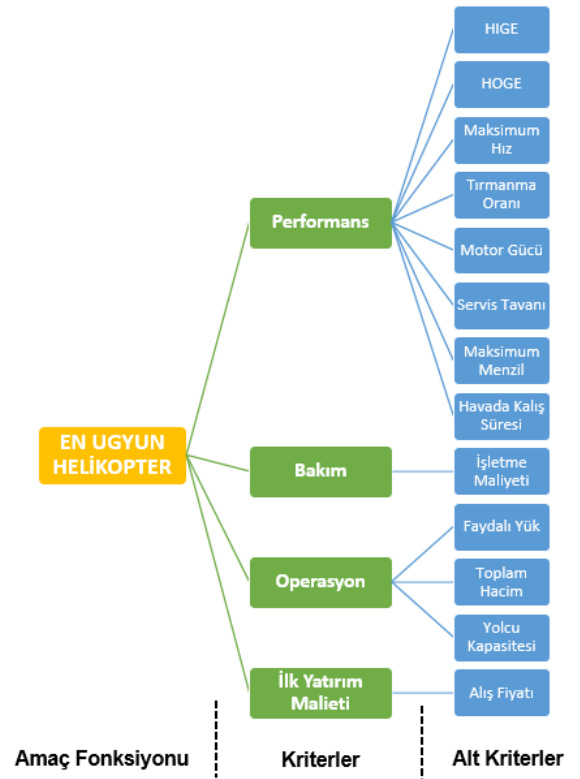
Literatürde yapılan çalışmalar tüm niteliklerin ortak önem derecesine sahip olduğu durumlar için geçerlidir. Ancak gerçek hayatta bu mümkün olmamakla birlikte helikopterin kullanım amacına göre bir nitelik diğer niteliğin önüne geçebilmektedir. Örnek vermek gerekirse yangın söndürme helikopteri için “ faydalı yük” oldukça önemli iken bir ambulans helikopterinde “ maksimum hız”, bir VIP helikopterinde “ kabin hacmi” öne çıkmaktadır. Yine aynı mantıkla bir offshore helikopteri için “ tırmanma oranı” önemli değilken, polis helikopteri için ise “ kabin hacmi” önemli değildir.

Dolayısıyla tüm bu niteliklerin helikopter tipine göre önceliklendirilmesi ve ağırlıklandırılması gerekmektedir. Bu amaç için çalışmada AHP yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, 1970’li yılların ortasında Pensilvanya Üniversitesi’nden Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen, ölçme ve karar verme için kullanılan matematiksel bir teoridir [32]. Belli bir amaç doğrultusunda çok sayıda alternatifin, belirlenen kriterler aracılığı ile karşılaştırılmasını sağlayan, çok kriterli karar verme yöntemidir ve karar vericiler tarafından karmaşık problemlerin çözümünde yaygın olarak tercih edilmektedir [33]. AHP, bazı diğer yöntemlerle birleştirilerek de

kullanılabilmektedir. Bu çalışmada TOPSIS yöntemi ile birlikte kullanılmaktadır.

Analitik hiyerarşik proses 5 adımdan oluşmaktadır;

1. **Adım:** Problem tanımlanarak amaç, kriterler ve alternatifler verilir. En tepeye amaç, orta seviyeye kriterler ve alt kriterler, en alt seviyeye de alternatifler yerleştirilir [34]. Şekil 4’de bu yapı oluşturulmuştur.
2. **Adım:** Hiyerarşik yapının oluşturulmasından sonra kriterlerin ve alt kriterlerin kendi aralarında önem derecelerinin belirlenmesi için ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur. Karar verici kriterleri veya alternatifleri ikili olarak karşılaştırır [34].



Şekil 4. Hiyerarşik yapı

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} 1 & a_{21} & a_{31} & \dots & a_{n1} \\ 1/a_{21} & 1 & a_{32} & \dots & a_{n2} \\ 1/a_{31} & 1/a_{32} & 1 & \dots & a_{n3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{n1} & 1/a_{n2} & 1/a_{n3} & \dots & 1 \end{bmatrix}_{n \times n} \quad (1)$$

Değerlendirmeye alınacak n adet kriter için i kriterinin j kriterine göre önemini belirlemek üzere A matrisi oluşturulur. Kullanılan ikili

karşılaştırma matrisinin formatı Tablo 2’de verilmiştir.

3. **Adım:** İkili kıyaslamalar Tablo 2’deki matris yardımıyla ve ağırlık değerleri w_j incelenerek her kriter için “öncelik vektörleri” aşağıdaki formüle göre elde edilir.

$$W_i = \left(\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j \right) / n \quad (2)$$

4. **Adım:** Yapılan karşılaştırmaların tutarlılığı ölçülerek “tutarlılık oranı (CR)” değeri elde edilir. Bu değer 0,1’den küçük olması beklenir, aksi halde yapılan ikili kıyaslamalarda bir hata yada tutarsızlık olduğu kanısına varılır ve süreç başa sarar. CR değeri, öz değer λ_{\max} ’a bağlı tutarlılık indeksinin (CI) rassal indeks (RI) bölünmesiyle elde edilir [35].

Tablo 2. İkili karşılaştırma matrisinin formatı

	Max Cruise	Max Range	Max Enduran	HOGÉ	HIGE	Useful Load	Operational	Rate of Climb	Total Volume
Max Cruise Speed	1								
Max Range		1							
Max Endurance			1						
HOGÉ				1					
HIGE					1				
Useful Load						1			
Operational Cost							1		
Rate of Climb								1	
Total Volume									1

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

$$CR = \frac{\lambda_{\max} - n}{(n - 1) * RI}$$

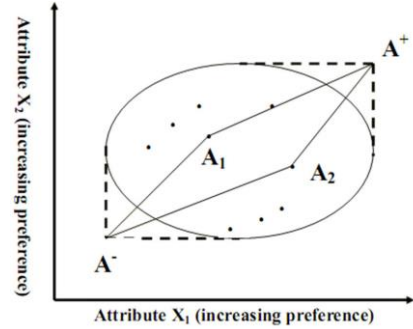
5. **Adım:** Bu işlemler tüm hiyerarşik yapı için tekrarlanır. Alternatiflere ait ağırlıklı puanlar hesaplanır. Karar alternatiflerinin puanları karşılaştırılarak sıralama yapılır. En yüksek puana sahip alternatif en uygun alternatif olarak belirlenir. [35]

AHP çalışmasında elde edilen çıktılar, bir sonraki adım olan TOPSIS aşamasında girdi olarak kullanılmaktadır.

ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME YÖNTEMİ (TOPSIS)

Alternatiflerin değerlendirilmesi, pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm olmak üzere iki temel noktaya dayanır. Şekil 5’de gösterilen TOPSIS yönteminde, pozitif ideal çözüme en kısa mesafedeki ve negatif ideal çözüme en uzak mesafedeki karar seçeneğinin belirlenmesi hedeflenir.

Pozitif ideal çözüm, maliyet ölçütünü minimum yapan ve fayda ölçütünü maksimum yapan çözümdür. Negatif ideal çözüm ise, maliyet ölçütünü maksimum yapan ve fayda ölçütünü minimum yapan çözüm olarak değerlendirilir. TOPSIS yöntemi, pozitif ve negatif ideal çözümlere uzaklıkları ortaya koyarak, ideal ve ideal olmayan çözümleri de ortaya çıkarır.



Şekil 5. TOPSIS metodolojisi görseli [36]

1. **Adım:** Karar matrisi oluşturulur. Bu matris, Tablo 2’de bulunan 9 ürün niteliğidir. Yapılan anket görüşmeleri neticesinde bu 9 niteliğin, helikopter seçiminde en önemli kriterler olduğu belirtilmiştir.

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (4)$$

2. **Adım:** Normalize matris (R) oluşturulur. Değerlerin bazıları tek haneli bazıları dört haneli olduğu için matris normalize edilmelidir. Bunu yaparken değerlerin kareleri alınır, karesi alınmış tüm değerler toplanır ve toplam değer kare kökü alınır. Daha sonra tüm değerler bir bir bu sonuç değerine bölünür.

$$r_{ij} = \begin{cases} \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^n a_{kj}^2}}, & i = 1, 2, \dots, n \quad j = 1, 2, \dots, m \\ 0, & d.y. \end{cases} \quad (5)$$

3. **Adım:** Ağırlıklar hesaplanır. Bu çalışmada ağırlıklar, AHP kısmında ortaya çıkan değerler olarak kullanılacaktır. Ağırlıkların toplamı 1 olmalıdır. Bu ağırlıklar “öncelik vektörü” olarak isimlendirilecektir.

$$\sum_{i=1}^m w_i = 1 \quad (6)$$

4. **Adım:** Pozitif ve negatif ideal çözümler hesaplanır. Bu işlem yapılırken öncelik vektörü ile normalize edilmiş matrisdeki değerler çarpılır. Elde edilen yeni matrisdeki en büyük değer “pozitif ideal çözüm”, en küçük değer ise “negatif ideal çözüm” olarak tayin edilir.

5. **Adım:** İdeal çözümlere uzaklıklar hesaplanır. Öklid yaklaşımından faydalanılır ve aşağıdaki yöntem $V_{ij} = w_j r_{ij}$ ve her kolondaki maksimum V_j^+ ve minimum değerler V_j^* ile beraber kullanılır.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (V_{ij} - V_j^+)^2}, i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (V_{ij} - V_j^*)^2}, i = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

6. **Adım:** İdeal çözüme göre göreceli yakınlıklar hesaplanır. Her bir alternatifin ideal çözüme göre benzerliğinin hesaplanmasında (C_i^+) pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklık ölçülerinden yararlanılmaktadır [37].

$$C_i^+ = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}, i = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

UYGULAMA

AHP Uygulması

Uzman grupları ile yapılan değerlendirmeler sonucunda çözümü en çok etkileyecek 9 kriter şu şekilde belirlenmiştir; maksimum hız (max cruise speed), menzil (max range), maksimum havada kalış süresi (max endurance), HOGE, HIGE, faydalı yük (useful load), işletme maliyeti (operational cost), tırmanma oranı (rate of climb), toplam hacim (total volume).

Kriterlerin ikili değerlendirmeleri yapılırken üç ayrı uzman grubu ile çalışılmıştır. Son kullanıcı pozisyonunda olan pilotlar ile, müşteri konumunda olan işletmeci / operatör firma ile ve ürünün tüm tasarım ve üretim sürecine hakim olan geliştiriciler (tasarımcılar) ile değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir. Bu değerlendirmeler yapılırken kriterlerin birbirlerine göre üstünleklerni yada zayıflıklarını kıyaslama tablolarına işlemek için Tablo 3’deki değerler kullanılır. Değerlendirmeler sonucunda aşağıdaki gibi (Tablo 4 – 6) sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 3. Değerlendirmelerde kullanılan önem skalası

ÖNEM SKALASI	
Önem Değerleri	Değer Tanımları
1,00	Her iki faktörün eşit öneme sahip olması durumu
2,00	Ara değer
3,00	1.faktörün 2.faktörden daha önemli olması durumu
4,00	Ara değer
5,00	1.faktörün 2.faktörden çok önemli olması durumu
6,00	Ara değer
7,00	1.faktörün 2.faktöre nazaran çok güçlü bir öneme sahip olması durumu
8,00	Ara değer
9,00	1.faktörün 2.faktöre nazaran mutlak üstün bir öneme sahip olması durumu
1,00	Her iki faktörün eşit öneme sahip olması durumu
0,50	Ara değer
0,33	2.faktörün 1.faktörden daha önemli olması durumu
0,25	Ara değer
0,20	2.faktörün 1.faktörden çok önemli olması durumu
0,17	Ara değer
0,14	2.faktörün 1.faktöre nazaran çok güçlü bir öneme sahip olması durumu
0,13	Ara değer
0,11	2.faktörün 1.faktöre nazaran mutlak üstün bir öneme sahip olması durumu

Tablo 4. Pilot İçin öncelik matrisi uygulamaları ve tutarlılık analizi

	Max Cruise Speed	Max Range	Max Endurance	HOGE	HIGE	Useful Load	Operational Cost	Rate of Climb	Total Volume
Max Cruise Speed	1,00	1,73	3,87	3,00	1,22	2,83	4,90	4,24	2,45
Max Range	0,58	1,00	3,16	3,00	1,22	2,83	4,90	4,90	2,83
Max Endurance	0,26	0,32	1,00	1,00	0,58	2,00	3,87	1,00	1,22
HOGE	0,33	0,33	1,00	1,00	0,71	2,00	3,46	2,83	2,83
HIGE	0,82	0,82	1,73	1,41	1,00	3,16	4,58	4,50	4,47
Useful Load	0,35	0,35	0,50	0,50	0,32	1,00	3,46	2,00	2,83
Operational Cost	0,20	0,20	0,26	0,29	0,22	0,29	1,00	0,33	0,35
Rate of Climb	0,24	0,20	1,00	0,35	0,20	0,50	3,00	1,00	2,00
Total Volume	0,41	0,35	0,82	0,35	0,22	0,35	2,83	0,50	1,00

CI Tutarlılık Göstergesi	RI Düzeltme Değeri	CR
0,066	1,45	0,05

Tablo 5. Operatör İçin öncelik matrisi uygulamaları ve tutarlılık analizi

	Max Cruise Speed	Max Range	Max Endurance	HOGE	HIGE	Useful Load	Operational Cost	Rate of Climb	Total Volume
Max Cruise Speed	1,00	3,00	3,00	5,00	2,00	2,00	0,50	4,00	1,00
Max Range	0,33	1,00	0,50	2,00	0,50	0,50	0,25	2,00	0,33
Max Endurance	0,33	2,00	1,00	2,00	0,50	0,50	0,25	2,00	0,33
HOGE	0,20	0,50	0,50	1,00	0,33	0,50	0,17	1,00	0,25
HIGE	0,50	2,00	2,00	3,00	1,00	1,00	0,33	2,00	0,50
Useful Load	0,50	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	0,33	2,00	0,50
Operational Cost	2,00	4,00	4,00	6,00	3,00	3,00	1,00	5,00	2,00
Rate of Climb	0,25	0,50	0,50	1,00	0,50	0,50	0,20	1,00	0,25
Total Volume	1,00	3,00	3,00	4,00	2,00	2,00	0,50	4,00	1,00

CI Tutarlılık Göstergesi	RI Düzeltme Değeri	CR
0,019	1,45	0,01

Tablo 6. Tasarımcı İçin öncelik matrisi uygulamaları ve tutarlılık analizi

	Max Cruise Speed	Max Range	Max Endurance	HOGE	HIGE	Useful Load	Operational Cost	Rate of Climb	Total Volume
Max Cruise Speed	1,00	3,00	9,00	9,00	7,00	7,00	5,00	9,00	7,00
Max Range	0,33	1,00	5,00	7,00	5,00	5,00	5,00	9,00	5,00
Max Endurance	0,11	0,20	1,00	1,00	0,50	0,33	0,14	1,00	0,33
HOGE	0,11	0,14	1,00	1,00	0,33	0,20	0,14	1,00	0,33
HIGE	0,14	0,20	2,00	3,00	1,00	0,50	1,00	3,00	3,00
Useful Load	0,14	0,20	3,00	5,00	2,00	1,00	5,00	7,00	5,00
Operational Cost	0,20	0,20	7,00	7,00	3,00	0,20	1,00	3,00	3,00
Rate of Climb	0,11	0,11	1,00	1,00	0,33	0,14	0,33	1,00	0,33
Total Volume	0,14	0,20	3,00	3,00	0,33	0,20	0,33	3,00	1,00

CI Tutarlılık Göstergesi	RI Düzeltme Değeri	CR
0,135	1,45	0,09

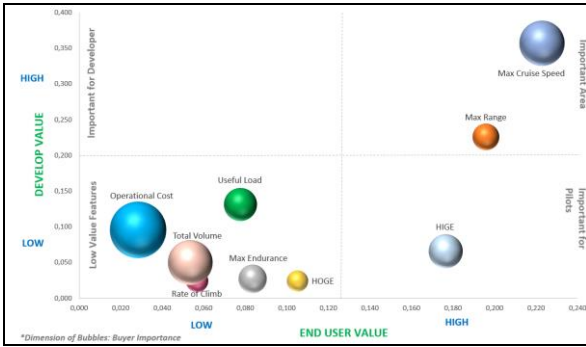
Ticari helikopter değerlendirmesi yapıldığı için müşteriler için %70, pilotlar için %20 ve geliştirici için %10 şeklinde ağırlık verilmesine karar verilmiştir ve “ağırlıklı ortalama matrisi” aşağıdaki gibi (Tablo 7) elde edilmiştir.

Tablo 7. Ağırlıklı ortalama nihai karar matrisi ve tutarlılık analizi

	Max Cruise Speed	Max Range	Max Endurance	HOGÉ	HIGE	Useful Load	Operational Cost	Rate of Climb	Total Volume
Max Cruise Speed	1,00	2,75	3,77	5,00	2,34	2,67	1,83	4,55	1,89
Max Range	0,36	1,00	1,48	2,70	1,09	1,42	1,65	3,28	1,30
Max Endurance	0,26	0,67	1,00	1,70	0,52	0,78	0,96	1,70	0,51
HOGÉ	0,20	0,37	0,59	1,00	0,41	0,77	0,82	1,37	0,77
HIGE	0,43	0,91	1,94	2,45	1,00	1,38	1,25	2,68	1,54
Useful Load	0,38	0,71	1,28	1,30	0,72	1,00	1,43	2,50	1,42
Operational Cost	0,55	0,60	1,04	1,21	0,80	0,70	1,00	3,87	1,77
Rate of Climb	0,22	0,30	0,59	0,73	0,37	0,40	0,26	1,00	0,61
Total Volume	0,53	0,77	1,95	1,29	0,65	0,71	0,56	1,64	1,00

CI Tutarlılık Göstergesi	RI Düzeltme Değeri	CR
0,029	1,45	0,02

Kriterlerin ikili değerlendirmeleri yapılırken üç ayrı uzman grubu ile çalışılmıştır. Son kullanıcı pozisyonunda olan pilotlar ile, müşteri konumunda olan işletmeci / operatör firma ile ve ürünün tüm tasarımı ve üretim sürecine hakim olan geliştiriciler (tasarımcılar) ile yapılan değerlendirmeler sonucunda aşağıdaki gibi bir baloncuk diyagramı elde edilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Baloncuk diyagramı (bubble chart)

Bu diyagram üç boyutlu bir diyagram olup tek görselde tüm kriterlerin hem son kullanıcı, hem müşteri, hem de geliştirici için önem sırasını görebilmek için kullanılır.

Grafikteki x eksenini; son kullanıcı için niteliğin ne derece değerli olduğunu (sağa gittikçe niteliğin önemi artar), y eksenini; geliştirici için niteliğin ne derece değerli olduğunu (yukarı çıktıkça niteliğin önemi artar), baloncukların boyutu ise müşteri için niteliğin ne derece önemli olduğunu gösterir.

Grafikğin sağ alt tarafında kalan kısım; pilotlar için önemli ancak geliştirici için çok önemli olmayan niteliklerin toplandığı alan olarak nitelendirilebilir. Bu kısımda kalan nitelikler için baloncukun boyutu belirleyici olacaktır.

Grafikğin sol alt tarafında kalan kısım; düşük değerli nitelikler (Low Value Features) olarak değerlendirilebilir. Bunun sebebi geliştirici için geliştirme değeri fazla olmaması ve son kullanıcı açısından niteliğinin önemli olmamasıdır. Bu kısımda

kalan nitelikler için baloncukun boyutu belirleyici olacaktır.

Grafikğin sol üst tarafında kalan kısım; Üzerinde fazla efor sarf edilmemesi gereken nitelikler (Features to Cut) olarak değerlendirilebilir. Bunun sebebi, bu bölgede kalan niteliklerin son kullanıcı için öneminin az olmasıdır. Bu kısımda kalan nitelikler için baloncukun boyutu belirleyici olacaktır.

Grafikğin sağ üst tarafında kalan kısım; Asıl yoğunlaşılması ve efor sarf edilmesi gereken nitelikler bu alanda toplanmıştır. Bunun sebebi hem geliştirme faaliyetlerinin yoğun olması, hem de son kullanıcı için değer üretmesidir.

Tablo 7'deki ağırlıklı ortalama karar matrisi elde edildikten sonra, öncelik vektörleri de elde edilmiş olup her bir kriterin önem sırası ortaya çıkmıştır (Tablo 8).

Tablo 8. Öncelik vektörleri (önem sırası)

	Öncelik Vektörü	Yüzde Önem
Max Cruise Speed	0,254	25,44%
Max Range	0,133	13,31%
Max Endurance	0,076	7,65%
HOGÉ	0,060	6,04%
HIGE	0,129	12,90%
Useful Load	0,104	10,36%
Operational Cost	0,108	10,77%
Rate of Climb	0,044	4,38%
Total Volume	0,092	9,16%

Gerçekleştirilen tutarlılık analizine göre, yapılan değerlendirme "tutarlı" olarak hesaplanmıştır. Tüm değerler Denklem 3'de yerine konduğunda sonuçlar aşağıdaki gibi (Tablo 9) elde edilmiştir;

Tablo 9. Uzman Gruplarına ve Ağırlıklı Ortalamaya Göre Tutarlılık göstergeleri

	CI Tutarlılık Göstergesi	RI Düzeltme Değeri	CR
Pilot	0,066	1,45	0,05
Müşteri	0,019	1,45	0,01
Tasarımcı	0,135	1,45	0,09
Ortalamada	0,029	1,45	0,02

CR değerlerinin tamamı 0,1'den küçük olduğu için yapılan değerlendirmeler tutarlıdır.

TOPSIS Uygulması

AHP çalışmasından elde edilen çıktılar, TOPSIS çalışmasına girdi sağlar. TOPSIS metodolojisinin üçüncü adımı olan ağırlıkların elde edilmesi kısmı, AHP çalışması ile elde edilmiş olur (Tablo 8'deki değerler).

Tüm alternatif ürünler için karar matrisi oluşturulmuştur. Daha önceden belirlenen 9 kriter (nitelik) için değerler matrise işlenmiştir (Tablo 10). Matrisdeki değerler standart olmadığı için normalize edilmesi gerekmektedir.

Tablo 10. Karar matrisi

	Max Cruise Speed	Max Range	Max Endurance	HOGÉ	HIGE	Useful Load	Operational Cost	Rate of Climb	Total Volume
AW139	306	807	4	2478	4682	2700	1924	10,9	11,4
H160	278	796	4,33	2804	3566	2000	1852	8,9	8,5
S-76D	287	874	4	1503	3213	2233	1778	10,16	6,9
412 EPI	232	672	3,8	2042	3475	2191	1647	8,13	7
Ka-62	290	735	4,2	3150	3800	2500	1507	11	12,5

Normalize edilmiş karar matrisi (Tablo 11) aşağıdaki gibi oluşur. Karar matrisindeki değerlerin karesi alınarak tüm satır toplanır, toplam değerın karekökü alınır, sonra karar matrisindeki değerler bir bir bu karekök değerine bölünür.

Tablo 11. Normalize edilmiş karar matrisi

	Max Cruise Speed	Max Range	Max Endurance	HOGÉ	HIGE	Useful Load	Operational Cost	Rate of Climb	Total Volume
AW139	0,0485	0,1279	0,0006	0,3928	0,7422	0,4280	0,3050	0,0017	0,0018
H160	0,0519	0,1485	0,0008	0,5232	0,6654	0,3732	0,3456	0,0017	0,0016
S-76D	0,0618	0,1882	0,0009	0,3236	0,6917	0,4807	0,3828	0,0022	0,0015
412 EPI	0,0471	0,1364	0,0008	0,4145	0,7055	0,4448	0,3344	0,0017	0,0014
Ka-62	0,0501	0,1270	0,0007	0,5442	0,6565	0,4319	0,2603	0,0019	0,0022

Normalize edilmiş karar matrisi, Tablo 8'de verilen öncelik vektörleri ile çarpılır ve aşağıdaki nihai matris (Tablo 12) elde edilir. Bu nokta, AHP ile TOPSIS'in kesiştiği noktadır.

Tablo 12. Nihai matris

	Max Cruise Speed	Max Range	Max Endurance	HOGÉ	HIGE	Useful Load	Operational Cost	Rate of Climb	Total Volume
AW139	0,01234	0,01702	0,00005	0,02373	0,09576	0,04432	0,03286	0,00008	0,00017
H160	0,01320	0,01976	0,00006	0,03161	0,08585	0,03864	0,03723	0,00007	0,00015
S-76D	0,01572	0,02504	0,00007	0,01955	0,08925	0,04978	0,04124	0,00010	0,00014
412 EPI	0,01198	0,01815	0,00006	0,02504	0,09102	0,04606	0,03602	0,00007	0,00013
Ka-62	0,01275	0,01690	0,00006	0,03287	0,08470	0,04472	0,02805	0,00008	0,00020

Pozitif ve negatif ideal çözümler belirlenir. Bu işlem yapılırken Tablo 12'deki matris ele alınır, her sütunun (nitelik) içerisindeki en büyük değer pozitif ideal çözüm değeri, en küçük değer ise negatif ideal çözüm değeri olarak tayin edilir.

Tablo 13. Pozitif ve negatif ideal çözümler

	Max Cruise Speed	Max Range	Max Endurance	HOGÉ	HIGE	Useful Load	Operational Cost	Rate of Climb	Total Volume
Pozitif ideal çözüm değerleri	0,01572	0,02504	0,00007	0,03287	0,09576	0,04978	0,02805	0,00010	0,00020
Negatif ideal çözüm değerleri	0,01198	0,01596	0,00005	0,01955	0,08470	0,03809	0,04124	0,00007	0,00013

Pozitif ve negatif ideal çözümü olan uzaklıklar tespit edilir. Bu işlem yapılırken; Tablo 12'deki nihai matris değerlerden, Tablo 13'deki pozitif ideal çözüm değerleri çıkarılır, bu sonucun karesi alınır, tüm satırdaki değerler toplanır ve toplam değerın karekökü alınır. Böylece pozitif ideal çözüme olan uzaklık tespit edilir. Aynı mantıkla negatif ideal çözüme olan uzaklıklar da tespit edilir (Tablo 14).

Tablo 14. Pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklıklar

	Pozitif ideal çözüme uzaklık	Negatif ideal çözüme uzaklık
AW139	0,014568588	0,01581363
H160	0,018497031	0,013384713
S-76D	0,019848481	0,015931166
412 EPI	0,014917491	0,012873979
Ka-62	0,014932315	0,019926115

İdeal çözüme göreceli yakınlıklar hesaplanır ve bu değerler seçimdeki nihai sıralamayı oluşturur. Bu değerler hesaplanırken; negatif ideal çözüme olan uzaklık, pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklıkların toplamına bölünür.

Tablo 15. Pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklıklar

	İdeal çözüme göreceli yakınlık
AW139	0,520
H160	0,420
S-76D	0,445
412 EPI	0,463
Ka-62	0,572

Tablo 15'deki nihai sonuçlara göre, hava ambulansı (HEMS) konfigürasyonu için tercih sıralaması şu şekilde oluşmuştur; Kamov Ka-62, Leonardo AW-139 ve Bell 412. Şekil 7'de de bu sıralama görsel olarak görülebilmektedir.



Şekil 7. Seçim sonucu

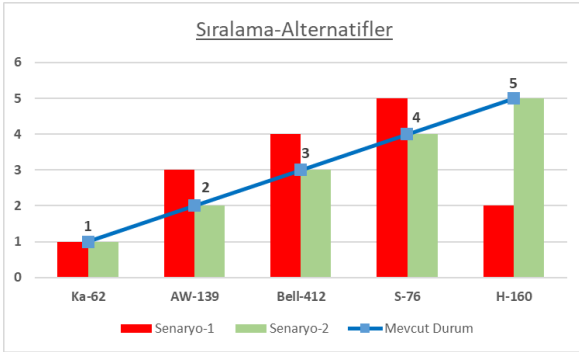
Duyarlılık Analizi

Sonuçların, kriter ağırlıklarında oluşabilecek değişikliklere ne derece duyarlı olduğunu ortaya çıkartmak için duyarlılık analizi kullanılmaktadır [38]. Tablo 16'da tüm kriterlerin mevcut durumda hesaplanan ağırlıkları bulunmaktadır. Bununla birlikte, literatüre [38] uygun şekilde tüm kriterlere eşit ağırlık verilerek gerçekleştirilen TOPSIS sonuçları (Senaryo-1) ve en düşük ağırlık puanı alan kriter ile en yüksek puanı alan kriterin puanları değiştirilerek gerçekleştirilen TOPSIS sonuçları (Senaryo-2) da tabloda verilmiştir.

Tablo 16. Duyarlılık Analizi Ağırlıkları

	Max Cruise Speed	Max Range	Max Endurance	HOGÉ	HIGE	Useful Load	Operational Cost	Rate of Climb	Total Volume
Mevcut Durum	0,254	0,133	0,076	0,060	0,129	0,104	0,108	0,044	0,092
Senaryo-1	0,111	0,111	0,111	0,111	0,111	0,111	0,111	0,111	0,111
Senaryo-2	0,044	0,133	0,076	0,060	0,129	0,104	0,108	0,254	0,092

Mevcut duruma ve diğer iki senaryoya göre oluşturulan sıralama grafiği Şekil 9’da verilmiştir. Bu grafiğe bakarak üç senaryoda da Ka-62 helikopterin ilk sırada yer aldığını, mevcut durum ile Senaryo-3 sıralamasının bire bir aynı olduğunu, Senaryo-2’de ise sadece AW-139 ile H-160 helikopterlerin yerinin değiştiği, diğer üç modelin aynı kaldığı gözlenmiştir. Sonuç olarak, gerçekleştirilen duyarlılık analizi kurulmuş olan model ve bu modele göre elde edilen sıralamaların tutarlı olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 8. Durumlar ve sıralamalar grafiği

SONUÇ

Bu çalışmada, genel maksat helikopterlerinin hava ambulansı (HEMS) varyantıyla ilgili olarak farklı ve yenilikçi bir ürün konumlandırma çalışması icra edilmiştir.

Önce uzman grupları ile seçim kriterleri belirlenmiş olup daha sonra AHP yöntemi ile bu kriterler tutarlı bir şekilde ağırlıklandırılmıştır. Daha sonra bu çıktılar TOPSIS yöntemine entegre edilerek matematiksel bir hesap yapılmış, ihtiyaca binaen optimum çözüm hesaplanmıştır (Şekil 7).

Bir ülkenin döner kanat hava ambulansı varyantı ihtiyacı hasıl olduğunda, yapılacak çok kriterli seçimde bu yöntem uygulanabilir. Ayrıca fiyatın da girdi olarak denklemlere tabi tutulması mümkündür. TOPSIS çalışmasının sonucunda elde edilen değerler (Şekil 8), ürünün birim satış fiyatına bölünmesi ile “fayda maliyet endeksi” de çıkarılabilir. Bu değer; ödenecek bir dolar karşılığında elde edilecek faydayı sayısal olarak temsil edecektir.

Bu çalışmada yenilikçi bir yöntem olarak AHP metoduna üç ayrı karar mercinin katılımı ile ağırlıklı ortalamalar kullanılarak konsolide bir sonuç elde edilmiştir. Son kullanıcı olan pilotlar, hava aracını

işleten operatörler ve geliştiriciden oluşan bu üç mercinin AHP sonuçları da ayrıca 3 boyutlu bir diyagram olan baloncuk diyagramıyla sunulmuştur. Bununla birlikte çalışmanın ilk kısmı olan AHP çıktıları ile, ikinci kısım olan TOPSIS çalışması bir birine entegre edilmiş, matematiksel bir model oluşturulmuştur.


Çözüme ulaşıldıktan sonra gerçekleştirilen duyarlılık analizi ile kriter ağırlıklarında oluşabilecek olası değişikliklere karşı modelin ne derece duyarlı olduğu incelenmiştir. Üç farklı senaryo için de sıralama kayda değer şekilde değişmemiş olup Ka-62 her alternatif de ilk sırada konumlanmıştır.


Ancak unutulmamalıdır ki, bu çalışma firmaların beyan etmiş oldukları katalog bilgilerine göre icra edilmiştir. Bazı ürünlerin uçuş kitapları (flight book / flight manual) yayınlanmadığı için yada erişimi mümkün olmadığı için, firmaların vermiş oldukları spesifikasyon bilgileri doğru kabul edilmiş, sonuçlar bu verilerle elde edilmiştir. Bununla birlikte, Türkiye’nin milli ürünü T625 Gökbey’in henüz yayınlanmamış bazı spesifikasyon bilgileri bulunduğu için, bu çalışmaya dahil edilmemiştir.


KAYNAKÇA

1. Bali, T.: “Peculiarities of helicopter supported operations”, Armed Forces Academy of General Milan Rastislav Štefánik, Liptov, SLOVAKIA.
2. Schrage, D. P., Yillikci, Y. K., Phillips, J. W., and Mavris, D. N.: “Conceptual Design and Proposed Development of the GAP-4 Multi-Purpose Small Utility Helicopter”, Proceedings of the 20th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences, 1996, pp. 601-610.
3. “Sikorsky Transfers S-70i™ Helicopter To Aselsan For Turkish Utility Helicopter Program Development”, available at: <https://news.lockheedmartin.com/2017-03-02-Sikorsky-Transfers-S-70i-TM-Helicopter-to-Aselsan-for-Turkish-Utility-Helicopter-Program-Development>, (accessed 06 June 2022).
4. Wang, D., and Zhang, B.: “Extension of learnable bandwidth for iterative learning control”, Proceedings of the 2009 International Workshop on Multidimensional (nD) Systems, 2009, 10813776.
5. “T70 Turkish Utility Helicopter Program”, available at: <https://www.tusas.com/en/products/helicopter/co-development-production/t70>, (accessed 06 June 2022).
6. “General Purpose Helicopter”, available at: <https://www.tusas.com/en/products/helicopter/in-digenous-development/gokbey>, (accessed 06 June 2022).
7. Bhutia, P. W., G., and Phipon, R.: “Appication of ahp and topsis method for supplier selection

- problem”, IOSR Journal of Engineering, 2012, 2 (10), pp. 43-50.
8. İç, Y. T., and Apaydın, İ.: “Küçük ve Orta Ölçekli Makine İmalat Firmaları İçin Dış Ticaret Kabiliyeti Analizi”, Makina Tasarım ve İmalat Dergisi, 2016, 14 (2), pp. 54-68.
 9. İç, Y. T., Yalçınkaya, M. C., and Dalarslan, S.: “Vana İmalatçısı Firmaların Teknik ve Ticari Yeterliliklerinin Belirlenmesi Amacıyla Bir Tedarikçi Değerlendirme Çalışması”, Makina Tasarım ve İmalat Dergisi, 2018, 16 (1), pp. 30-41.
 10. dos Santos, M., Quintal, R. S., da Paixao, A. C., and Gomes, C. F. S.: “Simulation of Operation of an Integrated Information for Emergency Pre-Hospital Care in Rio de Janeiro Municipality”, Procedia Computer Science 2015, 55, pp. 931-938.
 11. Vaidya, O. S., and Kumar, S.: “European Journal of Operational Research”, European Journal of Operational Research 2006, 169 (1), pp. 1-29.
 12. Sanchez-Lozano, J. M., and Rodriguez, O. N.: “Application of Fuzzy Reference Ideal Method (FRIM) to the military advanced training aircraft selection”, Applied Soft Computing 2020, 88, pp. 106061.
 13. Azimirad, E., and Haddadnia, J.: “Target threat assessment using fuzzy sets theory”, International Journal of Advances in Intelligent Informatics 2015, 1 (2), pp. 57-74.
 14. Wang, J., Fan, K., Su, Y., Liang, S., and Wang, W.: “Air combat effectiveness assessment of military aircraft using a fuzzy AHP and TOPSIS methodology”, 2008 Asia Simulation Conference - 7th International Conference on System Simulation and Scientific Computing, 10392819.
 15. Kiracı, K., and Akan, E.: “Aircraft selection by applying AHP and TOPSIS in interval type-2 fuzzy sets”, Journal of Air Transport Management 2020, 89, pp. 101924.
 16. Hamurcu, M., and Eren, T.: “Selection of Unmanned Aerial Vehicles by Using Multicriteria Decision-Making for Defence”, Journal of Mathematics 2020, 2020, pp. 4308756.
 17. “Helicopter Database”, available at: <https://www.helis.com/database/>, (accessed 06 June 2022).
 18. “Russian Helicopters”, available at <https://rostec.ru/en/>, (accessed 06 June 2022).
 19. “Aviation Pro”, available at: www.aviationpro.net, (accessed 06 June 2022).
 20. “Leonardo Company”, available at: <https://www.leonardo.com/en/home>, (accessed 06 June 2022).
 21. “Bell Flight”, available at: <https://www.bellflight.com/>, (accessed 06 June 2022).
 22. “Helicopters”, available at: <https://www.airbus.com/en/products-services/helicopters>, (accessed 06 June 2022).
 23. “Lockheed Martin”, available at: <https://www.lockheedmartin.com/>, (accessed 06 June 2022).
 24. “Janes”, available at: <https://www.janes.com/>, (accessed 06 June 2022).
 25. “AvBuyer”, available at: <https://www.avbuyer.com/>, (accessed 06 June 2022).
 26. www.conclindd.com, (accessed 05 February 2022).
 27. “Global Air”, available at: <https://www.globalair.com/>, (accessed 06 June 2022).
 28. “Military Factory”, available at: <https://www.militaryfactory.com/>, (accessed 06 June 2022).
 29. “Aero Corner”, available at: <https://aerocorner.com/>, (accessed 06 June 2022).
 30. “Shephard Issue 17 Handbook, The Concise Global Industry Guide – Military Training and Simulation”, Shephard Media, UK, 2021.
 31. “Shephard Issue 32 Handbook, The Concise Global Industry Guide – Military Helicopters”, Shephard Media, UK, 2019.
 32. Papamichail, K. N., Yillikci, and Rajaram, V.: “A Framework for Assessing Best Practice in Decision Making”, Research Review, 2006, 13 (1), pp. 1-21.
 33. Gülenç, İ., G., and Aydın Bilgin, G.: “Yatırım Kararlari İçin Bir Model Önerisi: AHP Yöntemi”, Öneri Dergisi, 2010, 9 (34), pp. 97-107.
 34. Saaty, T. L.: “Decision making with the analytic hierarchy process”, International Journal of Services Sciences, 2008, 1 (1), pp. 83-98.
 35. Samut, P. K.: “İki Aşamalı Çok Kriterli Karar Verme ile Performans Değerlendirmesi: AHP ve TOPSIS Yöntemlerinin Entegrasyonu”, Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 2014, 14 (4), pp. 57-67.
 36. Balioti, V., Tzimopoulos, C., and Evangelides, C.: “Multi-Criteria Decision Making Using TOPSIS Method Under Fuzzy Environment. Application in Spillway Selection”, Proceedings, 2018, 2 (11), 637.
 37. Jadidi, O., Hong, T. S., Firouzi, F., Yusuff, R. M., and Zulkifli, N.: “TOPSIS and fuzzy multi-objective model integration for supplier selection problem”, Journal of Achievements of Materials and Manufacturing Engineering, 2008, 31 (2), pp. 762-769.
 38. Perçin, S.: “Bulanık AHS ve TOPSIS yaklaşımının makine-teçhizat seçimine uygulanması”, Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 2012, 21 (1), pp. 169-184.

Zeynep Aslı Oruç 
Çeksan Yol Süpürme Araçları
Mak. San. Tic. A. Ş.
İzmir

Volkan Açıkgöz 
Çeksan Yol Süpürme Araçları
Mak. San. Tic. A. Ş.
İzmir

Mutlu Biçici 
Çeksan Yol Süpürme Araçları
Mak. San. Tic. A. Ş.
İzmir

Vakumlu Bir Yol Süpürücünün Vakum Arabası Tasarımının Parçacık Toplama Verimliliğine Etkisinin İncelenmesi

Bu çalışmada, kompakt tip vakumlu bir yol süpürme aracına ait vakum arabasının (toz toplama kafası) hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemi ile akış analizi ve parçacık hareketi analizi yapılarak gaz-katı etkileşimi incelenmiştir. Süpürücünün parçacık toplama verimliliğinin artırılmasına yönelik vakum arabası tasarımının geliştirme çalışması yapılmıştır. Mevcut ve geliştirilmiş tasarımın sayısal ve deneysel çalışması yapılarak karşılaştırılmıştır. 600 mm x 3000 mm'lik bir test düzeneğine 10 kg'lık kum eşit oranda yayılmıştır ve süpürücünün 6 km/h hız ile hareket ettiği durumdaki kum temizleme performansı incelenmiştir. Geliştirilmiş vakum arabasında %95 oranında süpürme verimliliği elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yol Süpürme Aracı, Vakum Arabası Tasarımı, Parçacık Hareketi Analizi, Yol Zemini Temizliği, Katı-Gaz Etkileşimi, Çevre Kirliliği

Makale Bilgisi:

Araştırma Makalesi

Gönderilme: 29.08.2022

Kabul: 20.10.2022

*Sorumlu Zeynep Aslı Oruç

Email: zeynepaslioruc@gmail.com

DOI: 10.56193/matim.1168205

Atf şekli/How to cite: Oruç Z. A., Açıkgöz V., Biçici M., Vakumlu Bir Yol Süpürücünün Vakum Arabası Tasarımının Parçacık Toplama Verimliliğine Etkisinin İncelenmesi. Makina Tasarım ve İmalat Dergisi, 2022; 20(2): 71-78.

GİRİŞ

Çevre kirliliği; artan dünya nüfusu ile beraber günümüzde insan sağlığı için önemli bir sorun haline gelmiştir [1]. Çevre kirliliğinin önüne geçmek ve yerleşim alanlarında hızlı ve verimli bir çevre temizliği sağlanması adına yol süpürme araçları kullanılmaktadır [2]. Yol süpürme araçlarından beklenen en önemli parametreler, temizleme verimliliğinin yüksek ve gürültü seviyesinin düşük olmasıdır. Süpürücünün temizleme verimliliğinin düşük olması, sokak zemininde bulunan çöp ve kumların tek seferde temizlenememesini ve süpürücünün aynı yollardan defalarca geçmesine sebep olur. Dizel motor ile çalışan süpürücülerin tükettiği yakıt miktarı ve çevreye yaydığı karbondioksit salınımı artar. Bu sebeple süpürücülerin çöp ve toz emme veriminin yüksek olması önem arz etmektedir.

Süpürücülerin vakum arabasının parçacık (kum, toz) emme performansının incelenmesi, literatürde önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir [3,4].

Yol süpürme araçları; emme fanı, ön fırça ve vakum arabası bulunduran sistemlerdir. Ön fırçalar, çöp veya kumları süpürerek, vakum arabasına doğru yönlendirir ve üzerinde bulunan santrifüj fanın yarattığı negatif basınç sayesinde vakum arabasının önünde biriken çöp ve parçacıklar emilerek çöp kazanına aktarılır. Havanın akış hızı ve basıncı, emme verimini doğrudan etkiler [2]. Endüstride ve literatürde, süpürücülerin vakum performansının ve vakum arabası tasarımının toz emme performansına etkisinin araştırılmasına ve tasarımın iyileştirilmesine yönelik çalışmalara odaklanılmıştır [3,5,6,7].

Süpürücülerin toz toplama performansının artırılmasına yönelik fanın emiş gücünü arttıracak tasarım iyileştirme çalışmaları gerçekleştirilmektedir [4]. Ancak yalnızca fan sisteminin geliştirilmesi, süpürücünün verimliliğini arttırmayabilir. Vakum arabası, parçacık ve çöplerin etkileşime girdiği ilk bölgedir. Bu sebeple toz/kum toplama performansının artırılması için vakum arabasının tasarımı da yüksek önem arz etmektedir [5].



1. Çöp kazanı, 2. Vakum Arabası, 3. Ön fırçalar

Şekil 1. Yol süpürme aracı ekipmanları [8]

Şekil 1'de yol süpürme aracını oluşturan ekipmanlar gösterilmiştir [8]. Bu çalışmada aracın alt bölümünde bulunan, yoldaki kum ve çöplerle ilk etkileşime geçen vakum arabasının bir diğer deyişle toz toplama kafasının hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemiyle akış analizi ve parçacık analizi yapılmıştır. Vakum arabasındaki katı-gaz etkileşimi incelenmiştir. Mevcut durumdaki vakum arabasının tasarımında iyileştirme çalışması yapılarak kum toplama performansının geliştirilmesi hedeflenmiştir. Deneysel veriler ile nümerik analiz sonuçlarının uyum içerisinde olduğu sonucuna varılmıştır.

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Y. Jin ve diğerleri, süpürücüde bulunan vakum arabasının (toz toplama ağız) genişliği, çıkış çapı ve süpürücü hızının toz toplama performansına etkisini araştırmıştır. Süpürücünün hareket hızının artması durumunda toz toplama ağzının giriş yüzeyi ile parçacıklar arasındaki bağıl hızın arttığını, parçacıkların yeterli kinetik enerji kazanmasını engellediğini ve toz parçacıklarının, vakum arabası içerisinde döküldüğünü incelemiştir. Dikdörtgen yapıda bir toz toplama ağız tasarımının genişliğini belirli aralıkta arttırmıştır ancak bu aralık ötesinde arttırdığı durumda toz parçacıklarının hava emiş borusuna aktarılmadığı ve parçacık toplamaya elverişli olmayan ters hava akışı elde etmiştir. Hava çıkış bölgesinde oluşan negatif basıncın toz emme verimliliği ile pozitif ilişkisi olduğu ancak aşırı yüksek negatif basınç oluşması durumunda yalnızca havanın akış hızının arttığı, toz emme verimliliğini arttırmadığı sonucuna varmıştır [3].

B. Wu ve diğerleri, yol süpürücünün vakum arabasının parçacık (kum) giderme performansının araştırılmasına yönelik sayısal ve deneysel çalışma gerçekleştirmiştir. Parçacıkların temizlenme verimliliğinin düşük süpürücü hareket hızı veya daha yüksek basınç düşüşü ile arttığını ve aynı çalışma koşulları altında küçük boyutlu parçacıkların, büyük boyutlu parçacıklardan daha verimli temizlendiği sonucuna varmıştır. 2400 Pa basınç düşüşü altında 12 km/h'lik optimum süpürme hızı olduğunu elde etmiştir [5].

J. V. Fayzullayevich ve diğerleri, rejeneratif tip vakumlu üfleli bir süpürücünün toplama ağzının (vakum arabasının) parçacık emme performansını incelemiştir. k-ε türbülans modeli ve ayrık parçacık modeli kullanmıştır. Parçacık yapısı, süpürme hızı, basınç düşüşü, vakum arabası ile yol yüzeyi arasındaki mesafe gibi parametrelerin parçacık temizleme verimliliğine etkisini incelemiştir. Yol süpürme aracının hızıyla parçacık toplama verimliliğinin ters orantılı olduğunu gözlemlemiştir. 6-10 km/h'lik süpürme hızında parçacık toplama verimliliğinin %95 oranında olduğunu incelemiştir [6].

Y. Xi ve diğerleri, rejeneratif tip bir vakumlu üfleli yol süpürme aracının vakum ağız tasarımında; emiş borusu çapının, emiş borusunun eğim açısının ve vakum arabasının ön bölme eğim açısının değişiminin toz toplama verimliliği üzerine etkisini araştırmıştır. k-ε türbülans modelini kullanarak katı-gaz akışını incelemiştir. Parçacık boyutunun azalmasıyla akış hareketliliğinin arttığını ve emiş borusu çapının arttıkça toz toplama verimliliğinin arttığını gözlemlemiştir [7].

E. Şahin ve diğerleri, vakumlu (fan sistemi) ve mekanik (elevatör sistemi) sistemleri birlikte içeren bir süpürücü imalatı gerçekleştirmiştir. Süpürücüde vakum arabası bulunmamaktadır. Büyük hacimli çöpler elevatör sistemi ile temizlenirken ortama yayılan toz parçacıkları, fan sistemi sayesinde emiş borusu vasıtasıyla emilmektedir. Havanın fandan çıkışı esnasında parçacıkların insanlara zarar vermesini önlemek amacıyla, fan davlumbazının çıkış ağızlarını yukarı doğru konumlandırmıştır [9].

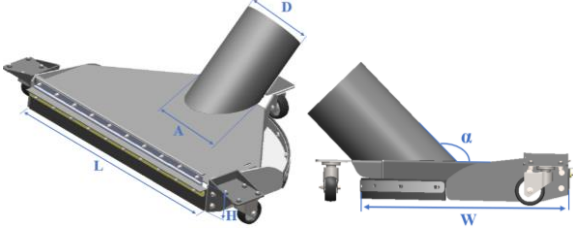
Literatür çalışmaları incelendiğinde genel olarak vakum arabasındaki emiş borusunun çapı, emiş borusuyla vakum arabası arasındaki eğim açısı, süpürücünün hareket hızı, parçacık büyüklüğü gibi parametreler incelenmiştir ve bu parametrelerin parçacık toplama performansına etkileri araştırılmıştır.

Bu çalışmada, vakumlu bir yol süpürme aracının vakum arabası tasarımının kum toplama verimliliğine etkisi incelenmiştir. Vakum arabası çıkışına yerleştirilen emiş borusunun, vakum arabasına bağlantı şeklinde iyileştirmeler yapılarak toz toplama verimliliği artırılmıştır ve deneysel veriler ile sayısal analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

FİZİKSEL MODEL

Bu çalışma kapsamında geliştirilmesi hedeflenen vakum arabasının katı modeli Şekil 2'de bulunmaktadır. Vakum ağız tasarımında; makine boyutları, fırçaların süpürme genişliği vb. parametreler önemli olduğundan dolayı yeni

tasarımlar yapılırken vakum arabasının genel en ve boy ölçüleri değiştirilmemiştir.



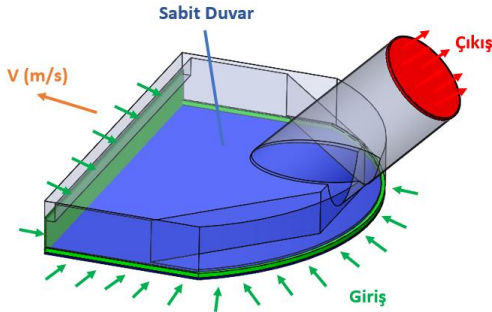
Şekil 2. Mevcut vakum arabası

Tablo 1’de mevcut vakum arabasının (Şekil 2) ölçüleri bulunmaktadır. Emiş borusu vakum arabasına 135° açı ile montajlanmıştır ve emiş borusunun çapı ile vakum arabasına bağlantı genişliği 200 mm’dir. Vakum arabasının genel ölçüleri 810 x 560 x 104 mm’dir.

Tablo 1. Mevcut vakum arabasının ölçüleri

Boru çapı	D	200 mm
Boru-vakum arabası bağlantı genişliği	A	200 mm
Vakum arabası uzunluğu	L	810 mm
Vakum arabası genişliği	W	560 mm
Vakum arabası yüksekliği	H	104 mm
Borunun eğim açısı	α	135°

Vakum arabası için sınır şartlarının gösterimi Şekil 3’teki gibidir.



Şekil 3. Sınır şartlarının gösterimi

Kum toplama işlemini simüle etmek için çeşitli varsayımlar (Şekil 3) yapılmıştır.

- 1) Süpürme esnasında vakum arabası V hızı ile ileri doğru hareket etmektedir.
- 2) Sabit duvar, hareketsizdir ve yol zeminini temsil etmektedir.
- 3) Giriş, atmosfere açıktır. Hava ve kumların vakum arabasına giriş yaptığı kısımdır.
- 4) Çıkış, fanın vakum etkisinin tanımlandığı ve kumların çöp haznesine aktarıldığı kısımdır.

MATEMATİKSEL MODEL

Hava akışı yörüngeleri, uygun matematiksel modeller kullanılarak hesaplamalı akışkanlar mekaniği (HAD) yöntemi kullanılarak simüle edilebilir. Reynolds ortalamalı Navier – Stokes denklemleri (RANS) sıvı akışı için zaman ortalamalı hareket denklemleridir. Vakum arabasından geçen hava akışı, sıkıştırılmaz ve sürekli akış olarak göz önüne alındığından dolayı denklemler aşağıdaki gibi yazılabilir [5].

Süreklilik Denklemi:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

Momentum Denklemi:

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = - \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \tau_{ij} \right) + \rho g_i \quad (2)$$

Denklem 1 ve 2’deki u_i ve g_i sırasıyla, x_i koordinatı boyunca hava akış hızı ve yerçekimi ivmesidir. ρ hava yoğunluğu, P basıncı, μ viskozitesidir ve $\tau_{ij} = -\rho u'_i u'_j$ türbülanslı dalgalanmanın etkisi olan Reynolds stresidir.

Literatüre göre, yol süpürme araçlarında vakum arabasının toz toplama performansının incelenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda, k-ε türbülans modeli yaygın olarak kullanılmaktadır [6,7]. Bu bilgiler kapsamında ve hava akışının türbülanslı hareketini doğru şekilde tanımlama amacıyla sonlu elemanlar analizlerinde k-ε türbülans modeli kullanılmıştır.

Türbülanslı akışın enerji transfer denklemi aşağıdaki gibidir [6].

$$\rho \frac{dk}{dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\epsilon_m}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \epsilon \quad (3)$$

Denklem 3’te; k türbülanslı kinetik enerji, σ_k türbülanslı kinetik enerjinin Prandtl-Schmidt sayısı, ϵ türbülanslı kinetik enerji yayılımı, G_k ise türbülanslı kinetik enerjinin ürünüdür.

Türbülanslı akış enerjisinin dağılım oranı iletim denklemi şu şekildedir:

$$\rho \frac{d\epsilon}{dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\epsilon_m}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} G_k - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (4)$$

Denklem 4’te $G_k = -\rho u'_i u'_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j}$, türbülanslı kinetik enerjidir ve $\sigma_k = 1.0$, $C_{1\epsilon} = 1.44$, $C_{2\epsilon} = 1.92$ sabit değerlere sahiptir.

HAREKET TEORİSİ

Parçacıklar için hareket denklemleri

Kum taneciklerinin harekete başlayabilmesi için belirli bir hava akış hızına sahip olması ve kinetik enerji kazanması gerekmektedir [5,6].

Newton'un ikinci yasasına dayanan kuvvetler dengesi Denklem 5'teki gibi yazılabilir.

$$m_p \frac{du_p}{dt} = F_d + F_g + F_s \quad (5)$$

Denklem 5'te; m_p parçacık kütlesi, u_p parçacık hızı, F_d birim parçacık kütlesi başına sürüklenme kuvveti, F_g yer çekimi kuvveti ve F_s parçacık kaldırma kuvvetidir. F_d , Denklem 6'daki gibi yazılabilir.

$$F_d = \frac{18\mu C_D Re}{\rho_p d_p^2 24} m_p (u - U_p) \quad (6)$$

Denklem 6'da U sıvı faz hızı, U_p parçacık hızı, ρ_p parçacık yoğunluğu, d_p parçacık çapı, CD sürüklenme katsayısı ve Re göreceli Reynolds sayısıdır ve denklem 7'deki gibi hesaplanır.

$$Re = \frac{\rho_p d_p |U_p - U|}{\mu} \quad (7)$$

Yer çekimi kuvveti (F_g) şu şekilde yazılabilir.

$$F_g = m_p (1 - \rho/\rho_g) g \quad (8)$$

Denklem 8'de g yerçekimi ivmesidir.

Sürüklenme katsayısı C_D , denklem 9'daki gibi hesaplanır.

$$C_D = (2.25Re^{-0.31} + 0.36Re^{0.06})^{3.45} \quad (9)$$

Parçacık kaldırma kuvveti (F_s) denklem 10'daki gibi hesaplanır.

$$F_s = \frac{2Kv^{0.5}\rho d_{ij}}{\rho_p d_p (d_{ik} d_{kl})^{0.25}} (U - U_p) \quad (10)$$

Denklem 10'da $K=2.594$ ve v kinematik viskozitedir. d_{ij} deformasyon tensörüdür.

Havanın kum taneciğine karşı yoğunluk oranı çok küçük olduğundan dolayı parçacık üzerindeki sanal kütle kuvveti ve Basset kuvveti gibi diğer kuvvetler ihmal edilebilir [5].

NÜMERİK ANALİZ

Hesaplama akışkanlar dinamiği (HAD) analizleri, lisanslı Solidworks – Flow Simulation 2021 programında gerçekleştirilmiştir. Vakum arabasının katı modeli, HAD analizine uygun bir şekilde modellenmiştir.

Sınır şartları

Sınır şartları (Şekil 3) değerleri, Flow Simulation programına aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

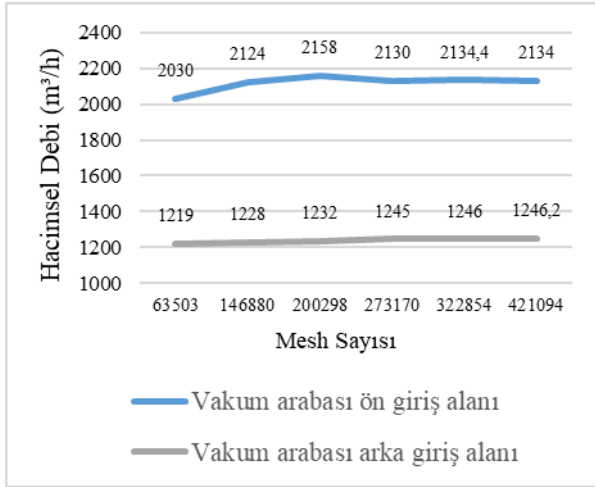
- Giriş: Havanın vakum arabası içerisine girdiği kısımdır. Vakum arabası çevresel olarak atmosfere açık olduğundan dolayı; 101325 Pa sabit basınç değeri tanımlanmıştır.
- Çıkış: Hava ve kumların çöp haznesi içerisine aktarılması amacıyla geçiş yaptığı kısımdır. Fanın emiş debisi, hortum ucundan anemometre ile ölçülmüş ve 7000 m³/h hesaplanmıştır. Bu sebeple analizlerde, çıkış kısmına 7000 m³/h'lik debi değeri tanımlanmıştır.
- Sabit Duvar: Yer zeminini temsil etmektedir. Sınır koşulu olarak hareketsiz duvar özelliği tanımlanmıştır.
- Süpürücünün Hareket Yönü: Süpürücünün hızı (V) 6 km/h olarak tanımlanmıştır ve hareket yönü Şekil 3'teki gibidir.

Ağdan bağımsızlık çalışması

Sonlu elemanlar analizi sonuçlarının doğru yorumlanabilmesi ve gerçeğe yakın sonuçlar alınabilmesi için ağ (mesh) yapısının kaliteli olması gerekmektedir. Ancak çok sık mesh atmak her zaman kaliteli ağ yapısı elde edileceği anlamına gelmez. Mesh sayısının gereğinden fazla olması, analizlerin uzun sürede çözülmesine sebep olup, zaman kaybı yaratmaktadır [10].

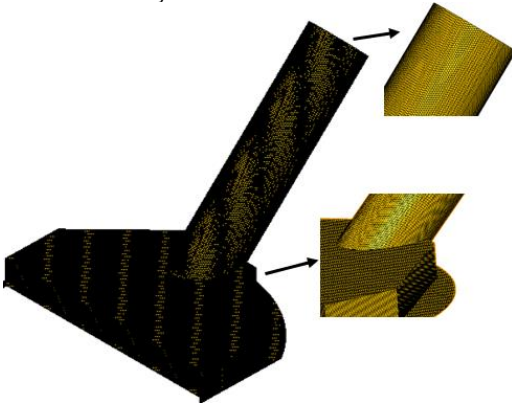
Bu çalışmada ağ yapısı Flow Simulation programında oluşturulmuştur. Ağdan bağımsız noktayı elde edebilmek amacıyla, mesh sayısı yaklaşık %20 ila %30 oranında artırılarak çözümler yapılmıştır ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonucun değişmeden aynı kaldığı, ağdan bağımsız nokta tespit edilmiştir ve bu noktadan itibaren mesh sayısı arttırılsa bile sonuç değişmemiştir. Böylelikle yapılan nümerik çalışmanın aynı koşullarda tekrarlanabilir olduğu sağlanmıştır.

Mevcut vakum arabası için yapılan ağdan bağımsızlık çalışmasının, mesh yakınsama grafiği Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Mesh yakınsama grafiği

Mesh yakınsama grafiği (Şekil 4) incelendiğinde, mesh sayısının 322.854 ve 421.094 olduğu değerlerde mevcut vakum arabasının ön giriş alanındaki hava debisi değerinin 2134 m³/h, arka giriş alanındaki hava debisi değerinin 1246 m³/h olduğu görülmektedir. Böylelikle mevcut vakum arabasının ağdan bağımsız noktasının, 322.854 adet mesh (eleman) sayısına ulaştığı andaki nokta olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 5. Ağ yapısı

Mesh sayısının 421.094 olduğu; mevcut vakum arabası tasarımının ağ yapısı Şekil 5'teki gibidir.

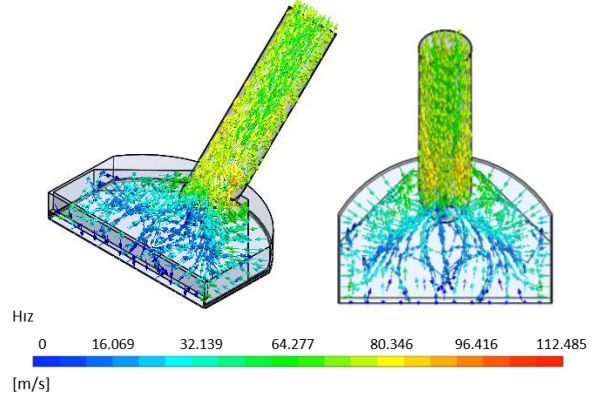
Nümerik analiz çıktıları

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizi

Öncelikle mevcut vakum arabasının Solidworks-Flow Simulation programında HAD analizi yapılmıştır ve havanın akış yönü, hacimsel

debisi ve basınç dağılımları incelenmiştir. HAD analizinde k-ε türbülans modeli kullanılmıştır.

Mevcut vakum arabasının analiz sonuçları Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Mevcut tasarımda hava akış yörüngeleri

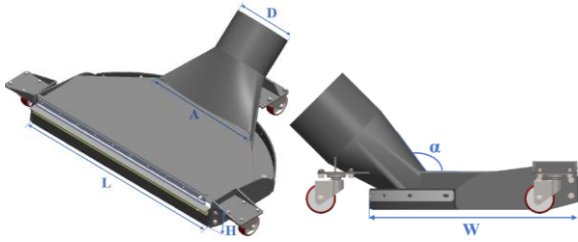
Vakum arabasının içerisine giren havanın hacimsel debisinin büyüklüğü (Q) ve hava yörüngeleri incelenmiştir. Vakum arabasının giriş kısmındaki hava debisi 1246 m³/h, arka giriş kısmındaki (emiş borusu- vakum arabası bağlantı noktasının arkası) hava debisi 2134 m³/h olarak hesaplanmıştır. Hava yörüngeleri incelendiğinde, boru ile vakum arabasının bağlantı kısmında havanın hareketinin düzensizleştiği görülmüştür. Vakum arabası kenarlarından emilen havanın bir kısmı arka kısımda bulunan (Şekil 6) köşelere çarpmakta ve düzensiz, türbülanslı bir hava hareketi oluşturmaktadır.

Mevcut vakum arabasının kullanıldığı süpürücülerde taş, şişe vb. büyük hacimli çöpler, çöp haznesine aktarılmaktadır ancak kum, toz gibi küçük parçacıklar vakum arabasının arka kısmında birirmektedir. Bu durum, verimsiz bir süpürme işlemine ve kumların yollarda ince bir iz gibi toz yığınları oluşturmaya sebep olmaktadır. Bu sebeple vakum arabası ile boru bağlantı kısmının birleşim yeri genişliği artırılarak arka kısımda biriken kumları temizleyebilecek yeni bir tasarım çalışması yapılmıştır.

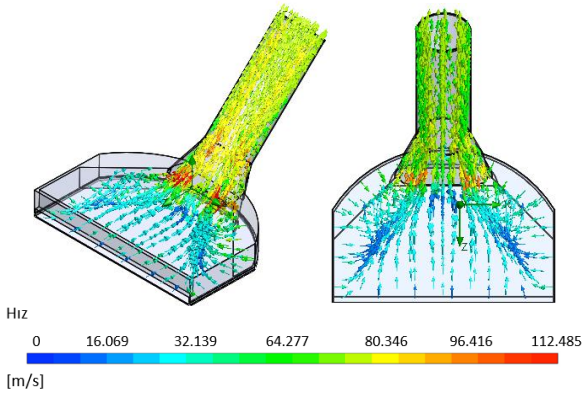
Geliştirilmiş vakum arabası tasarımında, mevcut vakum arabasının dış ölçüleri ve boru çapı boyutları korunmuştur. Yalnızca emiş borusunun vakum ağzına bağlantısının eni (A) genişletilmiştir (Tablo 1). Emiş borusu-vakum arabası bağlantısı eni (A) 200 mm'den 365 mm'ye arttırılmıştır. Yeni tasarım görselleri Şekil 7'deki gibidir.

Geliştirilmiş vakum arabasının HAD analizi hava akış yörüngeleri Şekil 8'de gösterildiği gibidir. Vakum arabasının giriş kısmındaki hava debisi 1356 m³/h, arka giriş kısmındaki (emiş borusu- vakum

arabası bağlantı noktasının arkası) hava debisi 2405 m³/h olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7. Geliştirilmiş vakum arabası izometrik görünüşü



Şekil 8. Geliştirilmiş vakum arabası hava akış yörüngeleri

Geniş bağlantı ölçüsü sayesinde vakum arabasının iç kısmında biriken kum tanecikleri emilecek ve tanecikler kinetik enerji kazanarak hareketlenecektir.

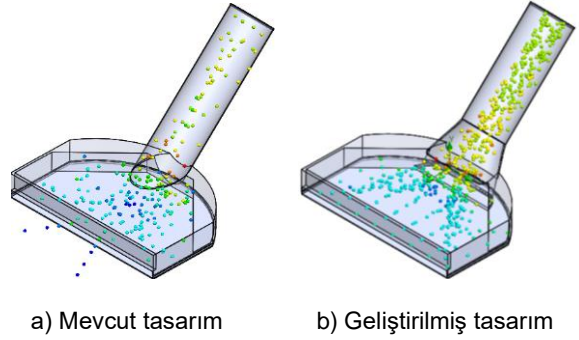
Parçacık analizi

Katı-gaz etkileşimini incelemek ve kumların vakum arabası içerisindeki yörüngesi ile vakum arabası içerisinde bulunma süresini incelemek amacıyla parçacık analizi yapılmıştır. Parçacık olarak kum tanımlanmıştır. Kumun çapı 0.5 mm ve yoğunluğu 1.3 gr/cm³'tür.

Her iki tasarımın da parçacık analizi yapılmıştır ve parçacıkların vakum arabası içerisindeki dağılımları Şekil 9'da verilmiştir.

0.5 mm çapa sahip kum parçacıklarının vakum arabası içerisindeki hareketi incelenmiştir (Şekil 9). Mevcut vakum arabasında (Şekil 9.a) kumların vakum arabası dışına çıktığı gözlemlenmiştir. Mevcut vakum arabasının içerisinden geçen hava yörüngeleri (Şekil 6) incelendiğinde, boru ile vakum arabası bağlantısının bulunduğu kısımdaki havanın arka kısımda sıkışması sebebi vakum arabasının

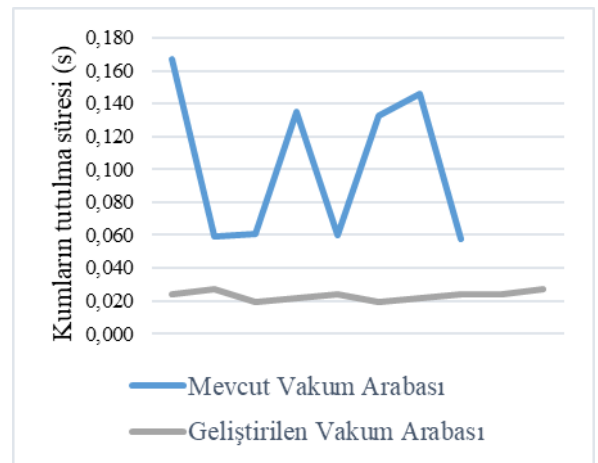
içerisinde türbülanslı akış olduğu ve vakum arabasının önünde bulunan açıklıktan giren havanın düzensizleştiği gözlemlenmiştir. Vakum arabası içerisinde oluşan türbülanslı hava sebebi ile zeminde bulunan kum taneciklerinin tamamının emilmeyip; bir miktarının vakum arabası dışına çıktığı, bir miktarının ise vakum arabasının arka kısmında biriktiği görülmüştür.



Şekil 9. Kum hareket yörüngeleri

Geliştirilmiş tasarımda, vakum arabası içerisine giren havanın laminar akışa sahip olduğu ve köşelere çarpmadan düzgün bir şekilde çıkış kısmına doğru hareket ettiği incelenmiştir (Şekil 8). Parçacık analizinde ise kum parçacıklarının, vakum arabası dışına çıkmadan tamamının emilerek vakum arabası çıkış kısmına aktarıldığı gözlemlenmiştir (Şekil 9.b).

Her iki tasarımın parçacık toplama verimliliğinin karşılaştırılması amacıyla, zemine 10 adet 0.5 mm çapına sahip kum tanımlanmıştır ve kum taneciklerinin vakum arabasında bulunma süreleri (çıkış kısmına kaç saniye içerisinde ulaştığı) incelenmiştir (Şekil 10).



Şekil 10. Kumların vakum arabasında tutulma süresi

Mevcut vakum arabasında ve geliştirilmiş vakum arabasında kum parçacıklarının vakum arabası

içerisinde tutulma süresi Solidworks – Flow Simulation programında parçacık çalışması yöntemi ile hesaplanmıştır. Geliştirilen vakum arabasında kumların vakum arabası içerisinde tutulma süresi daha düşüktür (Şekil 10). Bu durum, geliştirilmiş vakum arabasının temizleme verimliliğinin daha fazla olduğunu göstermektedir.

DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel çalışmada 75 kW motor gücüne ve 2 m³ çöp haznesi kapasitesine sahip kompakt tip bir yol süpürme aracı kullanılmıştır (Şekil 1). Şekil 11’de bulunan her iki vakum arabası tasarımı da süpürücüye montajlanıp trafiğe kapalı bir alanda test edilmiştir.

Şekil 11’de mevcut ve geliştirilmiş vakum arabası tasarımları mevcuttur. Her iki vakum arabası süpürücüye montajlanarak aynı şartlar altında testleri gerçekleştirilmiştir.



a) Mevcut tasarım b) Geliştirilmiş tasarım

Şekil 11. Vakum arabası görselleri

Deney düzeneği Şekil 12’deki gibi hazırlanmış olup, 600 mm x 3000 mm’lik bir alana 10 kg’lık ince kum yayılmıştır.



Şekil 12. Deney düzeneği

Deneysel çalışmada kabul edilen veriler şu şekildedir:

- Süpürücünün hızı sabit 6 km/h’tir.
- Fanın devri 3000 dev/dk’dır.

- Deney esnasında yalnızca vakum arabasının emiş performansının gözlemlenmesi hedeflendiği için fırçalar devreye sokulmamıştır.
- Vakum arabası ile zemin arasında 10 mm’lik bir yükseklik bulunmaktadır.

10 kg’lık kum test alanına döküldükten sonra araç 6 km/h’lik yürüyüş hızı ve 3000 dev/dk’lık fan devri ile test alanının tam ortasından geçmiştir. Daha sonrasında vakum arabasının emiş yapmadığı kumlar bir poşet içerisine toplanarak, tartılmıştır. Süpürme verimliliği (η) denklem 11’de bulunan formül ile hesaplanmıştır.

$$\% \eta = \frac{(\text{Toplam kum (kg)} - \text{Yerdeki kum (kg)})}{\text{Toplam kum (kg)}} \times 100 \quad (11)$$

Deney çalışması sonunda yerde kalan kum miktarı 0.5 kg’dır. Bu sebeple;

$$\% \eta = \frac{10 - 0.5}{10} \times 100 \rightarrow \%95 \text{ performansta bir süpürme işlemi gerçekleştirilmiştir.}$$

Aynı koşullar altında mevcut vakum arabası için yerde kalan kum miktarı 1.2 kg’dır. Verimliliği ise %88’dir. Bu çalışma ile beraber vakum arabası tasarımının performansı %8 artırılmıştır.

SONUÇ

Bu çalışmada temizleme performansı %88 olan bir süpürücünün vakum arabası tasarımı geliştirilmiştir ve süpürme verimliliği %95’e çıkarılmıştır.

Deney çalışmasında her iki vakum arabası tasarımı da aynı süpürücüye montajlanmış ve aynı koşullarda kum emme kapasitesi incelenmiştir.

Bu çalışmada emiş borusunun, vakum arabasına olan bağlantı şeklinin toz toplama performansına etkisi araştırılmıştır. Emiş hortumu, vakum arabasına geniş açıdan bağlandığı için ve vakum arabasının arka kısmı, boru bağlantısı ile birleşik olması sebebi ile kum parçacıkları vakum arabası altında birikmeden daha verimli bir şekilde temizlenmiştir. Vakum arabası ile emiş borusu bağlantısı arasındaki genişliğin artması ile süpürücünün temizleme performansı artmaktadır.

Parçacık analizi sonuçlarına göre geliştirilmiş tipteki vakum arabasında; 0.5 mm’lik kum parçacıklarının vakum arabası içerisinde bulunma süresi daha düşüktür. Bu durum, emiş borusu bağlantısının geniş açıdan vakum arabasına bağlanması ile beraber parçacık toplama verimliliğini de beraberinde getirmiştir.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SUCTION MOUTH DESIGN ON PARTICLE COLLECTION EFFICIENCY OF A VACUUM ROAD SWEEPER

In this study, the gas-solid interaction of the suction mouth (dust collection head) of a compact type vacuum road sweeper was investigated by performing flow analysis and particle motion analysis with computational fluid dynamics method. A development study of the suction mouth design was carried out to increase the particle collection efficiency of the sweeper. Numerical and experimental studies of the existing and improved design were made and compared. 10 kg of sand was evenly spread on a 600 mm x 3000 mm test setup and the sand cleaning performance was investigated when the sweeper was moving at a speed of 6 km/h. Sweeping efficiency of 95% was achieved in the improved suction mouth.

Keywords: Road Sweeper, Vacuum Trolley Design, Particle Movement Analysis, Road Surface Cleaning, Solid-Gas Interaction, Environmental Pollution

TEŞEKKÜR

Yazarlar, Çeksan Yol Süpürme Araçları Mak. San. ve Tic. A. Ş.'ye prototip imalatının ve deneylerin yapılması için sağlanan olanaklar için teşekkür ederler.

KAYNAKÇA

1. Manisalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A., Bezirtzoglou, E., "Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review," *Frontiers Public Health*, Volume 8, Article 14, February 2020.
2. Yee, C., "Road Surface Pollution and Street Sweeping," *Environmental Sciences*, May 2005.
3. Jin, Y., Jiabao, P., Hejin, A., Lujun, Z., "Relationship between flow field characteristics and dust collection efficiency of sweeper suction port," *The Journal of Engineering*, Page 389-400, 2022.

4. Hammaz, S., "Yüksek Emişli, Düşük Gürültülü Kompakt Bir Yol ve Kaldırım Süpürme Aracının Geliştirilmesi," Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2009.
5. Wu, B., Men, J., Chen, J., "Numerical study on particle removal performance of pickup head for a street vacuum sweeper," *Powder Technology*, 2010.
6. Fayzullayevich, J. V., Tan, G., Alex, F. J., Wu, Y., Agyeman, P. K., "Numerical Study of Factors Affecting Particle Suction Efficiency of Pick-Up Head of a Regenerative Air Vacuum," *Processes*, Volume 10, Page 1252, 2022.
7. Xi, Y., Zhang, Y., Zhang, X. ve Dai, Y., "Enhancement of particle collection efficiency considering the structural interplay: particle motion characteristics analysis," 2020.
8. Web Sitesi:
<https://ceksanmakina.com/product/citymouse>
9. Şahin, E., Kaftanoğlu, B., Albayrak, K., Biçkes, A., Başeşme, E., "Endüstriyel Tip Elektro-Hidrolik Vakumlu Süpürücünün İmalatı," *Makina Tasarım ve İmalat Dergisi*, Cilt 13, Sayı 1, Sayfa 27-36, Mayıs 2012.
10. Sadrehaghighi, I., "Mesh Sensitivity & Mesh Independence Study," 2021.

Nima Zoghipour 

Marmara University,
Mechanical Engineering Department,
Istanbul, Turkey

Radoslav Valov 

Bulgarian Academy of Sciences, Institute of
Metal Science, Equipment and Technologies
with Hydro Aero Dynamics Center,
Sofia, Bulgaria

Vladimir Petkov 

Bulgarian Academy of Sciences, Institute of
Metal Science, Equipment and Technologies
with Hydro Aero Dynamics Center,
Sofia, Bulgaria

Elmas Salamcı 

Gazi University, Engineering Faculty,
Mechanical Engineering Department, Ankara,
Turkey

Rahmi Ünal 

Gazi University, Engineering Faculty,
Mechanical Engineering Department, Ankara,
Turkey

An experimental evaluation of the three types of corrosion, passivation, pitting, and uniform corrosion, by electrodeposited chromium-nano diamond composite coating on porous materials

The addition of nanoscale particles to metal coatings results in nano composite coatings, a brand-new class of materials with improved hardness, wear, and corrosion resistances. Pre-alloy metal powder metallurgy samples were electrolytically coated with pure chromium and Cr-ND in this work (Chromium-nano diamond). The effects of the co-deposited ND particles on the passivation, pitting, and uniform corrosion behavior of the chromium coatings were experimentally investigated and contrasted with pure chromium coating and non-coated specimens. Under 3.5%wt. NaCl solution, the corrosion behaviors of the samples were examined using the measuring techniques of Polarization Resistance, Cyclic Voltammetry, and Electrochemical Impedance Spectroscopy. Additionally, characterization tests were performed using an optical microscope, a SEM (Scanning Electron Microscope), EDS (Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy), XRD (X-Ray Diffraction), and AFM (Atomic Force Microscope). As a result of the ND particles being incorporated into the chromium matrix, it was shown that when compared to pure chromium coatings and non-coated specimens, Cr-ND coatings demonstrated a clear improvement in corrosion behavior.

Keywords: Nano diamond composite coating, corrosion, cyclic polarization, Tafel extrapolation, electrochemical impedance spectroscopy

Makale Bilgisi:

Araştırma Makalesi

Gönderilme: 01.04.2022

Kabul: 24.10.2022

*Sorumlu Yazar: Nima Zoghipour

Email: nima.zoghipour@gmail.com

DOI: 10.56193/matim.1096676

Atıf şekli/How to cite: Zoghipour N., Valov R., Petkov V., Salamcı E., Ünal R., An experimental evaluation of the three types of corrosion, passivation, pitting, and uniform corrosion, by electrodeposited chromium-nano diamond composite coating on porous materials. Makina Tasarım ve İmalat Dergisi, 2022; 20(2): 79-85.

INTRODUCTION

Powder metallurgy, the high precision forming method, is popularly used in aerospace, mining, automotive and weaponry industries for its net shape production capability and the decent final tolerance of the parts without the need for machining. However, there exist certain limitations and flaws regarding this method in the manufactured parts by PM such as the pre-existing porosity and voids which mostly occur because of the property degradation in the used powder particles [1]. As a result, the tensile

behavior of materials with pre-existing porosity is characterized by intense decreases in both strength and ductility with increasing porosity levels [1, 2, 3]. Pores can expose substrates to corrosive agents, reduce mechanical properties, and deleteriously influence density, electrical properties and diffusion characteristics. With the increasing demands from industries for improved performance, development of better surface coatings has become imperative with higher wear and corrosion resistance [2, 3].

Electrolytic coating is a technique for producing nanocomposites using deposition of dispersed nano particles (metallic, non-metallic or polymeric) in the matrix solution to fulfill the uniformity of the external layer of a part [3, 4]. Among the particles used for reinforcement in the field of composite coating, diamond is frequently studied and applied [5, 6] due to its high hardness, good oxidation resistance, chemical stability and wear resistance [1]. The ultimate properties of the composite coatings are dependent on the type, shape, size and properties of particles. Most of the studies have been carried out on the micro sized particles. However, the application of nano particles has been a new research field due to these particles' mechanical, electrical, magnetic and optical properties.

Juneghani et. al [7] coated AISI 1020 with pure Cr and Cr-SiC nano composite. They reported that the hardness of the nanocomposite coating is higher than the pure chromium coating and with the increasing amount of SiC added to the solution, the hardness and the corrosion resistance of the coating have improved. Yousefpour et al. [8] studied the wear and corrosion behavior of Ck 75 steel coated with TiO₂, Al₂O₃ and SiO₂ particles reinforced chromium matrix and reported an increase in wear, corrosion resistance and micro hardness values. Gidikova et al. [5] coated the carbon steel C45 with electrochemical nano diamond-reinforced chromium in acid solution of CrO₃ and they found evolution in the hardness values by increasing nano diamond particle concentration. Isakov et al. [6], studied the surface properties of nano diamond-reinforced chromium on stainless steel chromic.

The main goal of this study was to investigate the influences of ND particles on the surface morphology, phase structure, grain and crystal sizes and corrosion resistance within a chromium matrix on a sintered pre-alloy powder substrate.

EXPERIMENTAL PROCEDURES

Press and sintering

Given in Table 1, the chemical properties of the pre-alloy metal powder provided by the Toz Metal A. Ş. were as the following. To gain the shape of the test specimen, the mentioned powder was pressed at 550 MPa in a biaxial die into 31.7×12.7×7.9 mm. Afterward, the pressed specimens were sintered at 1120 °C for 25 minutes in %0.6 carbon potential atmosphere (CH₄+C₃H₈). The total sintering process time was 150 minutes.

Table 1. The chemical properties of the used metal powder

Com position % wt.	AHC	Cu	Graphite F10	Graphite KS44	MnS	Lube E
	96.8	1.5	0.2	0.2	0.5	0.8

Deposition of Chromium and Chromium-Nanodiamond coatings

The surface oxide layer of the specimens was demolished, through a reduction process in H₂ at 950 °C for 45 minutes. The next step, degreasing in 1.2 dichloroethane solution for 10 minutes was carried out before coating. The galvanic electrodeposition bath used for pure chromium and chromium-nanodiamond coating was based on the Hull-Cell bath. Lead was used as the anode. The distance between the anode and the cathode was 50-60 mm. The electrodeposition bath composition and parameters are given in Table 2.

Table 2. Electrodeposition bath composition and parameters

Electrodeposition bath composition and parameters	Values
CrO ₃	220 g/l
H ₂ SO ₄	2.2 g/l
ND concentration	0.25 g/l
Current density	45 A/dm ²
Temperature	50 °C
Stirring rate	100 rpm
pH	5.5-5.8
Average ND size	6 nm

CHARACTERIZATION OF THE MATERIALS

Microstructure and surface morphology tests

The densities of the sintered and coated specimens were calculated with Archimedes Principle. The porosity percent, coating thickness of the coated and non-coated specimens were calculated from the average value of the taken pictures of the cross section by optical microscope using ImageJ software. The surface morphologies of electrodeposited Cr and Cr-ND composite coatings were investigated using Scanning Electron Microscope (SEM). The chemical composition of coatings was analyzed by Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS) and X-Ray Diffraction (XRD). The 3D surface topography of the surfaces was taken from a 1×1 µm² area by Atomic Force Microscope (AFM). The grain and crystal size of the coating was calculated using the Intersection Method and Scherrer Formula as demonstrated in Equation 1.

$$\tau = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (1)$$

where τ is the mean size of the ordered (crystalline) domains, K is a dimensionless shape factor, with a value close to unity, λ is the X-ray wavelength, β is the line broadening at half the maximum intensity (FWHM), after subtracting the instrumental line broadening, in radians and θ is the Bragg angle.

Corrosion tests

Polarization resistance, Cyclic Voltammetry and electrochemical impedance spectroscopy measurements under %3.5 NaCl solution versus standard calomel electrode were taken advantage of to analyze the corrosion behavior of the samples. The experiments were carried out in a 3-electrode system corrosion cell. The cathodic pole was set to be Platinum. The polarization resistances tests were carried out at a scan rate of 0.125 mV/s in the range of ± 0.02 V of open circuit potential (OCP) with 10 minutes of immersion. Tafel extrapolation theory was carried out in order to analyze the obtained graphs and results. The pitting and passivation properties of the samples were analyzed using Cyclic Voltammetry method at a range of -1.8 – 0.2 V and at a scan rate of 50 mV/s. The electrochemical impedance spectroscopy experiments were conducted at the ranges of $10^4 - 10^{-1}$ Hz of frequency at constant current using the IviumSoft corrosion analyzer.

RESULTS AND DISCUSSION

The density of the sintered specimens was measured at 6.90 g/cm^3 . Figure 1a and b show the surface porosities of the sintered specimens before coating. The measurements of the non-coated samples showed the total porosity rate was %11.751 and the average surface porosity rate was %10.870. The big porosities on the sintered surface can be based upon to the copper's low melting point which caused the increase in the porosity while sintering. The pure chromium surface has numerous cracks and crevices compared to Cr-ND coating [1].

Figure 2a and b demonstrate the microstructures of coated specimens. The average grain size of the Cr-ND coating was calculated $14.28 \mu\text{m}$, however this value was $39.68 \mu\text{m}$ for pure Cr. The average thickness of the pure chromium and Cr-ND coated samples were 17.26 and $19.02 \mu\text{m}$, respectively. It is worth noting that the chromium yield noticeably increased [5, 6] to %1.55 by enhancing the ND particles in the bath for the 25 g/l concentration while this value was %1.13 for the pure chromium. This phenomenon can be explained by the

incorporation of the particles into the metal coating by the Guglielmi Model [4, 8]. The Guglielmi Model is mainly a two-step process [9, 10]. Initially, the particles approach the cathode and are weakly absorbed onto the cathode surface. The ion cloud surrounds the weakly bound particles. In the second stage, the particles leave the ion cloud surrounding them due to the chemical reaction and are absorbed more strongly on the cathodic surface. Additionally, the increase in particle on the cathode surface, according to the two-step model. As a result, there is an increase in the coating's particle content.

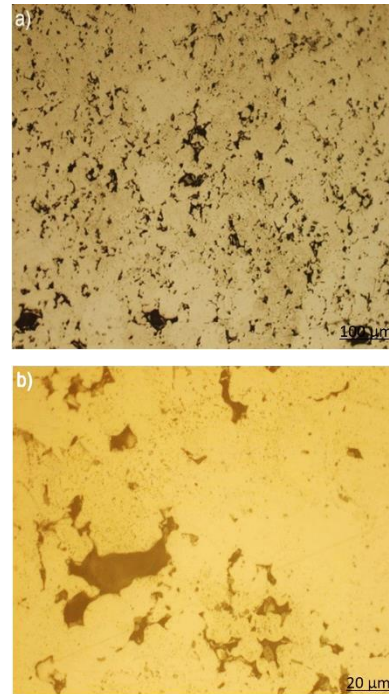


Figure 1. The surface porosities of the samples before coating; a)100X, b)500X

The XRD pattern is indicative of the fact that the electrodeposited Cr-ND coating is mainly of a solid solution in a mono-phase matrix as shown in Figure 3. Pure chromium deposit has exhibited (110), (200) and (211) diffraction peaks. The representative (111) peaks of nanodiamond in the coatings in the XRD graphs affirm the existence of the diffused nanodiamond particles in the chromium matrix. The intensity of the (200) diffraction peaks of the chromium in the nano composite coating is lower, the (211) diffraction peaks are higher, and the peak width is broader than that of the pure chromium coating [4, 11, 12].

The XRD pattern of the pure Cr and Cr-ND coating demonstrates that the crystal sizes of the chromium have decreased with the incorporation of ND particles in chromium with respect to pure chromium coating.

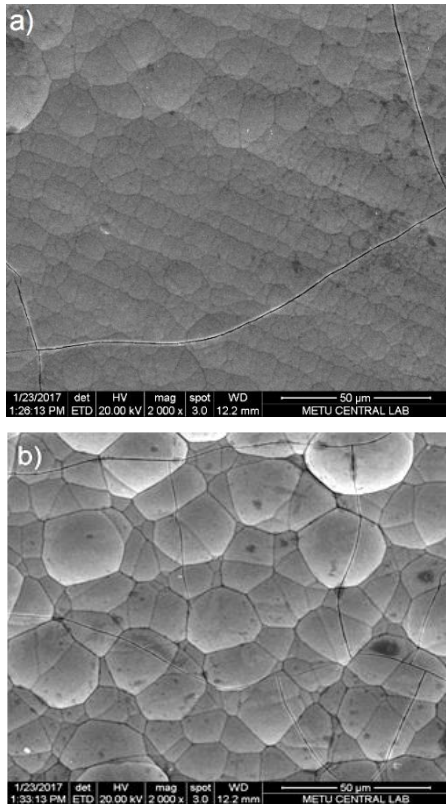


Figure 2. The SEM images of the surfaces of the coated samples; a) Cr-ND, b) Pure Cr

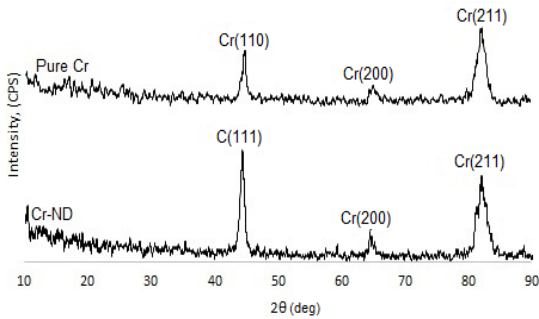


Figure 3. The XRD pattern of pure Cr and Cr-ND coatings

The EDS analyses expressed the composition of the electrodeposited Cr-ND coating in which the weight percent of Cr is %84.94 wt. and that of ND is %5.05 wt. form EDS which is given in Figure 4.

The cyclic voltammetry graphs for pure chromium and Cr-ND electrodeposited and non-coated sample in %3.5 wt. NaCl solution are illustrated in Figure 5 and Figure 6 respectively. The reverse anodic peaks correspond to the partial conversion of Fe(OH)_2 to Fe(OH)_3 which formed on the electrode surface and impaired the passive layer. The pore and the holes grew in the direct anodic scan because of the lower protection potential value rather than the pitting potential. SEM examination

micrographs showed that the Cr-ND deposit is smoother and has fewer cracks and crevices than pure chromium. The difference between the direct and reverse curves of Cr-ND coating is smaller than for the pure Cr coated and uncoated sample. This is a hint of the lesser tendency of the Cr-ND for pitting in comparison with pure Cr and uncoated samples. The passivated platelet of the Cr-ND coating is wider than for the pure Cr and uncoated specimens. The electrodeposition of ND particles in Cr matrix hinders the growth of the corrosive pits and accelerates the passivation process of the film. The current density peak values and the anodic scan curves in Cr-ND are lower than for the pure Cr and uncoated samples. The current peak values decreased with increasing concentration of the nanoparticles.

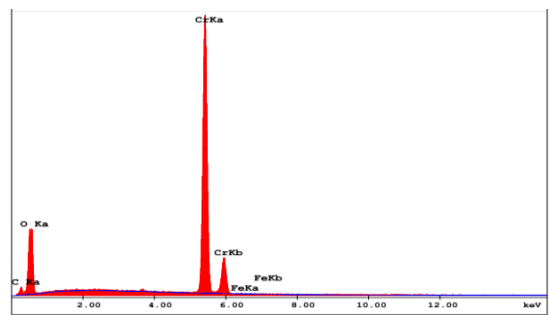


Figure 4. The EDS pattern of Cr-ND coating

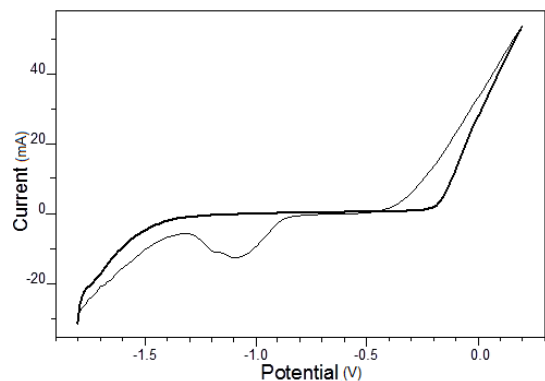


Figure 5. The cyclic polarization curves of the non-coated sample

Corrosion characteristics consisting of corrosion potential (E_{cor}), corrosion current density (I_{cor}), corrosion rate (Cor. Rate) and polarization resistance (RP) and anodic/cathodic Tafel Slopes (β_a and β_c) were examined by the Tafel Extrapolation Method. The rightward shift in the diagrams in Figure 7 is indicative of the fact that there has been a reduction in absolute corrosion potential values due to the contribution of ND particles content in the plating bath. This potential change is attributed to the reduction in the active surface area of the cathode and

decrease in the ionic transport by nano particles. Additionally, the corrosion current density decreased and also polarization resistance (RP) increased which illustrate a decline in the corrosion rate. In conclusion, the diffusive ND particles in the Cr matrix decrease the corrosion rate; and therefore, enhance the corrosion resistance in %3.5 wt. NaCl solution [4, 8]. The polarization resistance results of the Tafel extrapolation tests are given in Table 3.

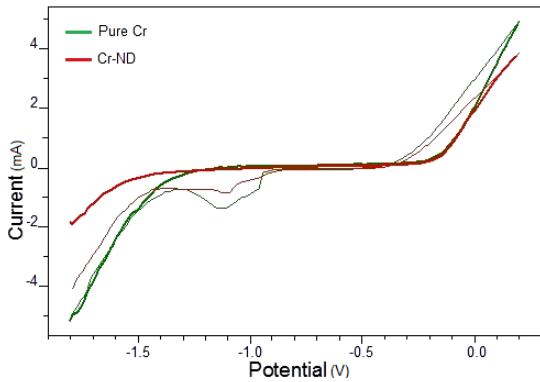


Figure 6. The Cyclic polarization curves of the coated samples

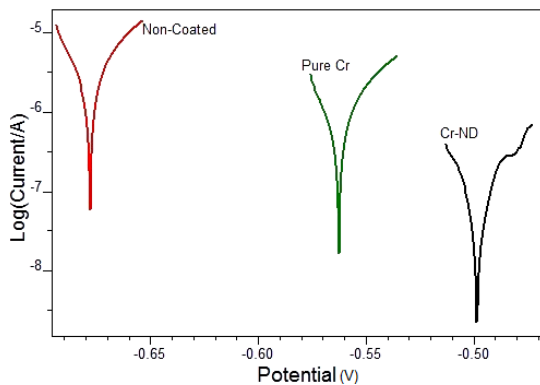


Figure 7. The Polarization Resistance curves of the Specimens

Table 3. The polarization resistance results of the samples

Sample	Non-coated	Pure Cr	Cr-ND
Ecor (V)	-0.6779	-0.5625	-0.4980
Icor (A/cm ²)	7.11E-06	1.25E-06	6.81E-07
Rp (ohm)	2636	1.08E+04	3.28E+04
Cor. Rate (mm/y)	1.02304	0.15191	0.08847

Nano diamond particles expose better corrosion performance according to the mechanisms mentioned below. Firstly, the ND particles serve as an inert physical barrier against the diffusion of the corrosive media to the surface of electrode which leads to filling in the porosities as well as the relative

reduction of the cracks on the mentioned surface and hence amending the microstructure of the chromium matrix. Secondly, due to the dispersion of ND particles in the chromium layer several corrosion micro cells are formed, consisting of the ND particles acting as cathode and chromium as anode, caused by the above standard potential of ND compared to chromium. Such corrosion micro cells assist the anodic polarization. The attendance of ND throughout the corrosion process prevents the formation of the localized corrosion, and the major corrosion can therefore be attributed to the homogeneous uniform one [1, 7, 11, 12]. Thirdly, by reducing the surface grain size, forming a less porous, less defective and smoother surface against corrosive circumstances.

The electrochemical impedance spectroscopy results demonstrate that corrosion rate is affected by the charge transfer resistance (Rct). Cr-ND coating has greater Nequest plot radius and Rct values compared to both pure Cr and non-coated specimens which indicates the Cr-ND represents better corrosion resistance behavior than pure Cr and non-coated samples as shown in Figure 8 [13].

The 3-D surface topography of the Cr-ND coating is shown Figure 9. The Ra surface roughness, and RMS surface roughness distribution values were calculated (Table 4). The surface roughness and its distribution values of Cr-ND are less than for both pure Cr and non-coated surfaces. This can be attributed to the contribution of ND particles, which created a more compact and smoother surface.

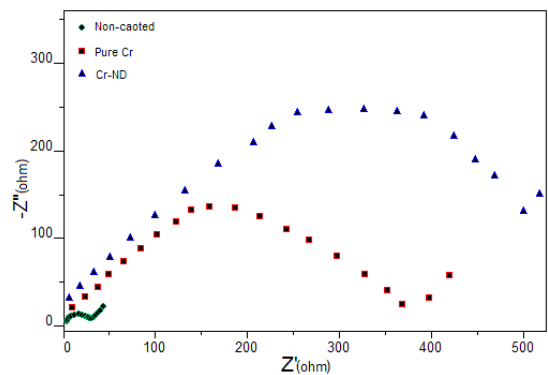


Figure 8. The Impedance Spectroscopy curves of the Specimens

CONCLUSION

X-ray diffraction analyzes performed a successful mono phase nanocomposite coating process on pre-alloy metal powder substrates by the electrolytic coating process.

The incorporation of ND particles during electrochemical deposition of chromium enhances the chromium yield and the thickness of the coating.

AFM and SEM clarified the embedding of ND particles in the chromium matrix and resulted in a layer with smaller crystallite and grain sizes and more compact and smoother surfaces with fewer cracks and roughness than those of pure Cr deposits.

The embedding of ND particles in the chromium matrix did not affect the chromium's inert coating performance; in addition, it enhanced the uniform and pitting corrosion behaviors of powder metallurgy substrates.

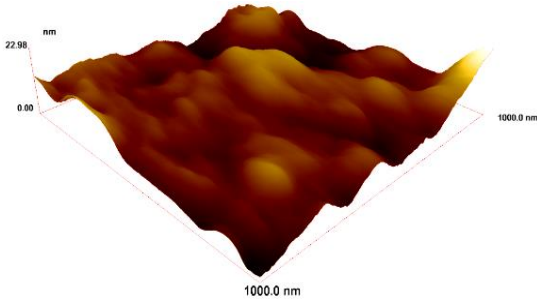


Figure 9. The AFM image of the Cr-ND coated sample

Table 4. The 3D surface topography Results of the Specimens

Sample	Ra (nm)	RMS (nm)
Non-coated	5.04	6.62
Cr	2.86	3.81
Cr-ND	2.12	2.65

Acknowledgements

The authors acknowledge with thanks the financial supports granted by TÜBİTAK to the project no. 214M098, Toz Metal A. Ş. for providing the metal powders and the late, Nelly Gidikova, for her leadership and help in the nano composite coating process. The specimens were produced in the framework of the bilateral cooperation between Gazi University and Bulgarian Academy of Sciences (BAS).

GÖZENEKLİ MALZEMELER ÜZERİNDE ELEKTRO-BİRİKİMLİ KROM-NANO ELMAS KOMPOZİT KAPLAMANIN ÜÇ FARKLI KOROZYON DAVRANIŞININ, PASİVASYONUN, ÇUKURLAŞMANIN VE HOMOJENLİĞİN DENEYSEL ANALİZİ

Nano ölçekli parçacıkların metal kaplamalarına dahil edilmesi, nano kompozit kaplamalar olarak bilinir ve artan sertlik, aşınma ve korozyon direncine sahip yeni bir malzeme şeklindedir.

Bu çalışmada, ön alaşımlı metal toz metalurji numuneleri, saf krom ve Cr-ND'nin (Krom-nano elmas) elektrolitik kaplamasına tabi tutulmuştur. Birlikte biriktirilen ND parçacıklarının krom kaplamaların pasivasyon, çukurlaşma ve üniform korozyon davranışı üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiş ve saf krom kaplama ve kaplanmamış numunelerle karşılaştırılmıştır. Numunelerin korozyon davranışları, Polarizasyon Direnci, Dönüşümlü Voltmetri ve Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi ölçüm yöntemleri ile ağırlıkça %3,5 NaCl çözeltisinin altında analiz edilmiştir. Ayrıca optik mikroskop, SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu), EDS (Energy Dispersive X-Ray Spektroskopisi), XRD (X-Ray Difraction) ve AFM (Atomic Force Microscope) kullanılarak karakterizasyon testleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, saf krom kaplamalar ve kaplanmamış numunelerle karşılaştırıldığında, ND partiküllerinin krom matrisine dahil edilmesi nedeniyle Cr-ND kaplamaların korozyon davranışında ikna edici bir iyileşme elde edildiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Nano elmas kompozit kaplama, korozyon, dönüşümlü polarizasyon, Tafel ekstrapolasyonu, elektrokimyasal empedans spektroskopisi

REFERENCES

1. M. Etaat, M. Emany, M. Ghambari, E. Fadaei: Surface treatment and nickel plating of iron powder metallurgy parts for corrosion protection, *Materials and Design*, 30 (2009) 3560–3565.
2. Leisner P, Leu RC, Moller P.: Electroplating of porous PM compacts, *Powder Metal*, (1997) 40:207–10
3. Gabe DR.: Corrosion protection of sintered metal parts, *Powder Metal*, (1977) 20:227–31.
4. Abdel Aal A.: Hard and corrosion resistant nanocomposite coating for Al alloy, *Material Science and Engineering A*, (2008) 474:181-187.
5. Gidikova N., Cias A., Petkov V., Madej M., Sułowski M., and Valov R.: Wear resistant chromium coatings modified with diamond nanoparticles, *Archives of Metallurgy and Materials*, 59 (4), (2014) 1513-1516.
6. V. P. Isakov, A. I. Lyamkin, D. N. Nikitin, A. S. Shalimova, and A. V. Solntsev: Structure and Properties of Chromium–Nanodiamond Composite Electrochemical Coatings, ISSN 2070.2051, *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*, (2010) Vol. 46, No. 5, pp. 578–581

7. Juneghani M. A., Farzam M., and Zohdirad, H.: Wear and corrosion resistance and electroplating characteristics of electrodeposited Cr-SiC nanocomposite coatings, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 23 (7), 1993-2001, (2013).
8. Yousefpour M. , Rahimi A.: Characterization and selection of optimal parameters to achieve the best tribological performance of the electrodeposited cr nanocomposite coating, Materials & Design, 54, 382- 389, (2014).
9. Z. Zeng, L. Wang, A. Liang, J. Zhang: Tribological and electrochemical behavior of thick Cr-C alloy coatings electrodeposited in trivalent chromium bath as an alternative to conventional Cr coatings, Electrochim Acta 52 (2006) 1366–1373.
10. Mandich, N. and Dennis, J.: Codeposition of nanodiamonds with chromium, Metal Finishing, 99 (6),117-119, (2001).
11. P. Gyftou, E.A. Pavlatou, N. Spyrellis: Effect of pulse electrodeposition parameters on the properties of Ni/nano-SiC composites, Applied Surface Science, 254 (2008) 5910–5916.
12. Hui Xu, Zhi Yanga, Meng-Ke Lia, Yan-Li Shia, Yi Huang, Hu-Lin Li: Synthesis and properties of electroless Ni-P-Nanometer Diamond composite coatings, Surface & Coatings Technology, 191 (2005) 161–165.
13. Macdonald J. R., Johnson W. B.: Theory in impedance spectroscopy [J]. New York: John Wiley & Sons, (1987).

Elyaf Takviyeli Polimer Tamir Tasarımının Sistemik Tasarım Yöntemi ile Belirlenmesi

Bu çalışmada kompozit tamir tasarımına Pahl & Beitz sistemik tasarım yaklaşımı ile karar verilmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda kompozit tamir tasarımı için gerekli olan tesis kabiliyetleri, maliyet, malzemeye erişim gibi mühendislik dışı kriterler ile dayanım, sağlamlık gibi mühendislik kriterleri birlikte ele alınmaktadır. En yaygın malzemelerden biri olan elyaf takviyeli polimerlerin tamir tasarımı için ihtiyaç listesi, fonksiyon yapısı ve alt fonksiyonları oluşturulmuş ve çözüm varyantları elde edilmiştir. Çözüm varyantları için karar ağacı, değerlendirme çizelgesi ve değer profil diyagramı oluşturulması ile de optimum tasarım belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kompozit, Tamir Tasarımı, Tasarım Metodolojisi, Pahl ve Beitz, Sistemik Tasarım

Makale Bilgisi:

Araştırma Makalesi

Gönderilme: 12.04.2022

Kabul: 04.11.2022

*Sorumlu Yazar: Öznur Bayraktar Erbudak

Email: oznurbayraktar@gmail.com

DOI: 10.56193/matim.1102561

Atıf şekli/How to cite: Erbudak Ö.B., Erden O., Elyaf Takviyeli Polimer Tamir Tasarımının Sistemik Tasarım Yöntemi ile Belirlenmesi. Makina Tasarım ve İmalat Dergisi, 2022; 20(2): 86-98.

GİRİŞ

Kompozit kelime olarak, iki veya daha fazla malzemeden oluşan yapıları ifade etmektedir. Kompozit malzemeler özet olarak ‘makro ölçüde birbirinden farklı iki veya daha fazla bileşenin bir ara yüzey boyunca bir araya gelmesiyle oluşan malzemeler’ olarak tanımlanmaktadır [1].

Yapılan birçok çalışmada elyaf ile termoset reçinelerin uyumlu olmasından dolayı elyaf takviyeli polimerler yaygın olarak kullanılan malzemeler arasında yer almıştır [2]. Elyaf (Fiber) Takviyeli Polimer (FRP) malzemeler, havacılıkta başlarda yapısal olmayan parçalarda kullanılsa da günümüzde uçuş kritik parçalarda da kullanılmaktadır [3]. Yapısal olmayan parçalarda kullanılmasına örnek olarak 1960’larda alüminyum yerine kompozit kapaklar, kumanda yüzeyleri ve uçuk kontrol parçaları gibi yapılar verilebilir [4]. Uçuş kritik yapılarda kullanımı ise özellikle Boeing 787 yolcu uçağının gövde, kanat ve kaplıların tasarımıyla olmuştur [5].

Kompozit malzemelerin yüksek mukavemete sahip olma, kolay şekillenebilme, yorulma ve korozyona karşı dayanıklı olma gibi avantajları olsa

da imalat ve kullanım sırasında hataların oluşmasına yatkın olmaları dezavantajdır [6]. Kompozit malzemelerde yapışmama, katman yön hataları, buruşma, gözenek, takım izleri gibi Tablo 1’deki hatalar karşılaşılabilmektedir [7]. Bu hatalar mukavemetin düşmesine neden olabilmektedir. Mukavemeti tekrar arttırmak için de hatalı yapıların yenisiyle değiştirilmesi veya yapının tamir edilmesi gerekmektedir [8]. Tablo 2’de sık karşılaşılan hata tipleri için uygulanabilen tamir tasarım örneklerine yer verilmiştir.

Tamir tasarımı sırasında yapısal olan ve olmayan kısıtlar dikkat edilmesi gereken unsurlar arasındadır [9].

Sistemik tamir tasarım yaklaşımı ile üretim tesisinde gelişen teknolojiler ve iyileşen yöntemlerin ile yeniden değerlendirilebilir olması açısından fayda sağlayabilir. Tamir tasarımı gerçekleştiren tesis içerisinde yeni teknolojilerin gelmesi ile daha dayanıklı ve maliyet açısından daha etkili tamir teknolojileri sistemik bir yaklaşımla daha verimli sonuçlar elde edilebilir.

Nam Pyo Suh tarafından geliştirilen ve matris tabanlı bir sistematik tasarım yöntemi olan aksiyomatik tasarım Elham Fouladi ve Ali Abedian tarafından incelenmiştir [10]. Aksiyomatik tasarım yöntemi ile fonksiyon ile tasarım parametreleri arasında bir matris kurgulanarak tasarım optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Bunun dışında Doung ve Wang iterasyon tekniği ile tasarım seçimine yönelmiştir, bu yöntemi kullanılırken hasar, takviye yapı ve yapıştırıcı tanımlandıktan sonra malzeme seçiminde iterasyon yararlanılmıştır [11].

Marioli-riga ve Gdoutos ise kompozit tamirini adım adım analiz ederek ilerlemişlerdir. Bu süreci hasarın muayenesi, malzeme seçimi, yük analizi ve tamirin tasarımını, yüzey hazırlamasını, doğrulama testlerini ve uçuşa elverişliliğini içermektedir [12].

Pahl ve Beitz sistematik tasarım yaklaşımı ile tasarım adımlarının modellenmesi, tasarım şartnamesinden başlayarak alt fonksiyonları karşılayan en uygun çözüm prensiplerini bulmaya kadar geçen süreci kapsayan bilgisayar destekli ve web tabanlı bir kavramsal tasarım sistemine bir alt yapı geliştirilebilmektedir [13]. Sistematik bir tasarım yaklaşımı olarak tekstil tasarımında kullanıma durumu incelenerek ve sistematik tasarım adımların kullanılmasıyla bir tekstil ürün koleksiyonu bile oluşturulabilmektedir [14].

KOMPOZİT TAMİR TASARIMI

Yapılarda bir hata tespit edildiğinde öncelikle hatanın çeşidi, boyutları, etkilediği alanın belirlenmesi gerekmektedir. Alanın belirlenmesi elyaf malzemelerden oluşan katmanlı yapıda etkilenen katman sayısı, konumu, yapışmanın durumunu tespit edilmesini kapsamaktadır. Yapı yüzeyinde veya içerisinde herhangi bir hasara oluşturmadan, mevcut hasarın tanımlanması ve karakterinin belirlenmesi için tahribatsız muayene yapılabilmektedir. Kompozit malzemeler için tahribatsız muayene yöntemleri gözle muayene, vuruş (tap) ile muayene, ultrasonik muayene, termografik muayene, radyografik test, elektromanyetik test, akustik emisyon ve shearografi muayenesi olarak çeşitlendirilebilir [15]. Hasarın tespit ile kompozit tamir tasarımını belli kriterler çerçevesinde gerçekleştirilebilir.

Kompozit Tamir Tasarım Kriterleri

Tamir tasarımındaki temel hedeflerinden biri hatalı yapıya ait bütünlüğün korunmasıdır. Mühendislik açısından da tamir tasarımının uçak yapısı üzerinde idame edilebilir olması için belli kriterleri sağlaması gerekmektedir. Statik dayanım ve

kararlılık, tamirin dayanıklılığı, sağlamlık, ağırlık ve denge, operasyon sıcaklığı, çevresel etkiler, maliyet ve takvim gibi kriterler mühendislik açısından tamir tasarımını belirleyen ana unsurlardır [16]. Tamir tasarımı için statik dayanım sağlanmalı, yapı kararlılığı korumalı, yorulma ömrünü sağlamalı ve mevcut fonksiyonunu devam ettirebilmelidir. Ek olarak tamir sırasında gerekli ise aerodinamik yüzey değişimi, ağırlık ve yük aktarım değişiklikleri en az seviye tutulmalıdır [17].

Tablo 1. Kompozit İmalat Süreçleri ve Sık Rastlanan Hata Tipleri

Süreç	Hasar Tipi
Katman (kumaş) serimi	<ul style="list-style-type: none"> • Yabancı cisimler • Katman hataları • Hatalı katman konumu • Buruşma/katlanma • Serim esnasında kirlenmeler
Yapıştırma	<ul style="list-style-type: none"> • Boşluk/Gözenek • Katmanların ayrılması • Yüzeyde gözenek/boşluk • Takım izleri • Yanlış elyaf oranları • Matris mikro çatlakları • Çarpılma/geri yaylanma • Az-çok pişen parçalar
Pişirme	<ul style="list-style-type: none"> • Yapıştırıcının iyi yapışmaması • Yabancı cisimler • Fazla- az pişmiş yapıştırıcı • Çok ince- kalın yapışma hattı
İşleme ve montaj	<ul style="list-style-type: none"> • Katmanların ayrılması • Yüzey hasarları (çizik, göçük vs.)
Kullanım	<ul style="list-style-type: none"> • Katman ayrılması • Nem- sıcaklık değişimleri • Yıldırım çarpması • Isıl hasarlar • Su buharı basıncı ayrılmaları

Tamir tasarımında hasarın tespit edilmesi, tamir tasarımı, malzeme seçimi, süreçler, kalite yönetimi, uçak üzerinde uygulanması, tahribatsız muayene gibi gereksinimleri mühendislik olarak hesaba katılmalıdır [18]. Kompozit tamir tasarımında mühendislik açısından gereksinimler olsa da tasarımın uygulanabilirliği için tesis kabiliyetlerinin de değerlendirilmesi gerekmektedir [19].

Kompozit Tamir Tasarımına Ait Genel Kavramlar

Bağlantı biçimine göre yapıştırma ile ve bağlantı elemanı ile yama uygulaması yapısal tamir tasarımlarıdır. Bu yazı kapsamında bağlantı elemanı ile yapılan tamirler, reçine enjekte edilmesi gibi yapısal olmayan tamirler ve bakımda izin verilebilir limitler içerisindeki geçici tamirler gibi değerlendirmeye alınmayacaktır. Güçlendirici ile

yapılan yapıştırma bağlantı tamirleri açılı, kademeli eklemeler ve pişirilmiş tabaka eklemeli tamirler olarak ele alınmaktadır. Yapıştırma ile kompozit tamir tasarımı hasarın tespit edilmesi, tamir tasarımı, malzeme seçimi ve uygulanması, pişirme yöntemi ve tamirin kalite kontrol adımlarını kapsayan bir süreçtir.

Tablo 2. Hata Tipleri ve Tamir Uygulama Örnekleri

Hata Tipi	Reçine enjekte etme	Zımparalama ve su geçirmezlik sağlama	Kademeli malzeme kaldırma ve katman yerleştirme	Açılı malzeme kaldırma ve katman yerleştirme	Kabul edilemez	Kabul edilebilir
Kabarcık						
Zengin reçine						
Geçişli reçine						
Yetersiz reçine						
Kirli/yapışkanlı bölge						
Kırıksıklık						
Çizikler						
Çatlak						
Kopma						
Katman ayrılması						
Gözenek						
Yabancı cisim hasarı						
Boyutsal sapmalar						

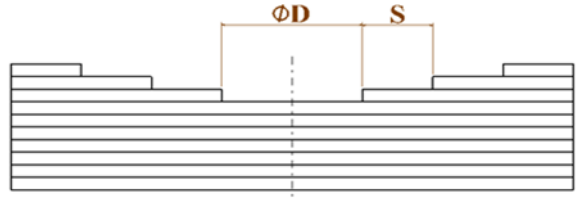
Bağlantı elemanı ile tamirler ise içeriden veya dışarıdan tek bir veya iki yamanın hasarlı yapıya bağlantı elemanı ile bağlanarak tamir edilmesini kapsamaktadır. Tekli veya çiftli taraflı bağlantılar olabilmektedir, her bağlantı şeklinde de kesme yükleri bağlayıcılar ve yama ile aktarılmaktadır. [20]

Kompozit Yapıların Yapıştırma Tamir Tasarımları

Bu yazı kapsamında değerlendirilen yapıştırma tamirleri; yapı ile yapıştırıcı malzeme kullanılarak kesme kuvvetinin yamaya geçişini sağlayan bir yöntemdir. Açılı veya kademeli olarak iki farklı yama eklemeler yöntemi mevcuttur. Ana yapıya ile aralarında yapıştırıcı uygulanarak katmanların serilmesini içermektedir. Bunlara ek olarak bir diğer yöntem ise daha önceden pişirilmiş takviye yamanın ikincil pişirme yöntemi ile ana yapıya yapıştırılması işlemidir [20].

Kademeli (step) yöntem; kademeli geçiş için her bir katman sayısı için adım aralığı açılarak, merdiven şeklinde bir yapıyla hasarın giderilmesi gerekmektedir. Geometrik kısıtlamaların olduğu

bölgelerde kademeli geçiş uygulamasını engelleyebilmektedir. Açılı geçiş daha esnek olduğundan tercih edilebilmektedir.

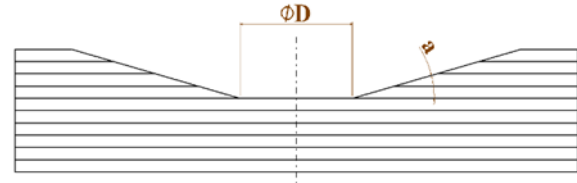


S: Kademe (adım) uzunluğu
D: Hasarı temizleyen en küçük çap değeri

Şekil 1. Kademeli geçiş ile tamir uygulaması

Açılı (Tapered/Scarf) yöntem ise hasarlı alanın etrafında belli bir eğim değeri kullanarak geçiş sağlanarak tamir edilmesini içermektedir. Kalınlığının belli bir katındaki bir çapta açılı bir şekilde malzeme çıkaracağını göstermektedir. Eğim hesaplanırken hasar sınırından başlayarak eğim hesabı yapılmalıdır.

Açılı yapıştırma ile tamir uygulaması, kompozit yapılarda kullanılan standart prosedürlerden biridir. Hasarlı bölge etrafının bir çember etrafında devam eden bir açı ile malzeme kaldırılmasını içeren bir uygulamadır. Yapının bölgesel kalınlığına göre 1:20 ile 1:60 değer aralığında açı (a değeri) kullanılmaktadır [21].



Şekil 2. Açılı geçiş ile tamir uygulaması

Bir diğer uygulama olan pişirilmiş plaka ile yapıştırmada daha önceden pişirilmiş elyaf takviyeli malzemenin yapıştırıcı film ile yapı üzerine sadece yapıştırıcının pişirme sıcaklığına göre pişirme süresi döngüsü ile uygulanması işlemi içermektedir. Pişirilmiş plaka halindeki yamalar ana yapının fiber hacim oranı veya hacim gibi değerlerine sahip olması zorunda değildir. Açılı olarak pişirilip direkt tamir bölgesi üzerine uygulanabileceği gibi, açılı olarak çıkarılan bölgenin formuna uygun olarak şekil verilip uygulanabilmektedir.

Genel Malzeme Kavramları ile Islak ve Sıcak Serim Tanımları

Kuru elyaf malzemeler, tamir işleminden önce reçine emdirilerek kullanılan malzemelerdir. Kompozit malzeme reçine eşit bir şekilde yayılması

ve hava boşluklarının çıkarılması için haddelenir. Reçinenin fazlası bu şekilde alındıktan sonra tamir bölgesi üzerine yerleştirilmektedir. Prosesin gerçekleşeceği sıcaklık ve süre kullanılacak reçineye bağlıdır [22].

Tablo 3. Yapıştırma Tamir Uygulamalarının Avantajları ve Dezavantajları

Tamir Yöntemi	Avantajları	Dezavantajları
Kademeli	<ul style="list-style-type: none"> Farklı kalınlık ekleme Katmanların birbiriyle örtüşmesi sayesinde daha düzgün ve güçlü yük akışı sağlaması Temiz yüzeyde iyi yapışması 	<ul style="list-style-type: none"> Çok uğraştırıcı ve zor bir uygulama olması
Açılı	<ul style="list-style-type: none"> Farklı kalınlık ekleme Katmanların birbiriyle örtüşmesi sayesinde daha düzgün ve güçlü yük akışı sağlaması Temiz yüzeyde iyi yapışması 	<ul style="list-style-type: none"> Zamana ihtiyaç duyması Yüksek kabiliyet ihtiyacı
Pişirilmiş Plaka	<ul style="list-style-type: none"> Çabuk ve yalın bir şekilde uygulanması En az seviyede hazırlanma ihtiyacı olması 	<ul style="list-style-type: none"> Kalınlık ve ağırlık eklenmesi Özellikle belli bir kalitede yüzey hazırlanma ihtiyacının olması

Islak serim yöntemi yaygın bir yöntem olsa da çalışma alanı dışında katmanların reçine emdirilmesi için hazırlanması gerekmektedir. Bu nedenler de yapışma kalitede gözenek ve boşluk gibi farklı hatalar oluşabilir. Uygulayıcının kabiliyetine önemli olabilmektedir. Sonuç olarak sıklıkla problemlerle karşılaşılabilir [23].

Matris ile takviye malzemenin bir arada olduğu ve üretim için hazır formda olan ürüne reçine emdirilmiş elyaflar (prepreg) denilmektedir. Doğrusal veya çapraz örülmüş elyafa reçinenin emdirilmesi ve reçinenin belli bir sıcaklıkta kısmı olarak pişirilmiş formunu içermektedir. Prepreg (Genel B seviye reçine) malzemeler belli bir elyaf hacim oranı, katman kalınlığı ve kısmi pişme derecesine sahiptir. Malzeme rulolar halinde farklı genişlikte imal edilip, soyulabilir kağıtlar prepreg ile desteklenmiş şekildedir. Genel olarak ağırlığın %32-42'si oluşturan reçineyi oluşturan yapışkanlığı, şekil alabilirliği, raf ömrü, jel zamanı ve dış zaman kullanımı gereksinimleri belirlenmektedir [18]. Daha hassas bir yöntem olmakla birlikte vakum torbalama ve basınç gerektiren otoklavda pişirme döngüsüne ihtiyaç duyulmaktadır. Yüksek sıcaklıklar içeren bu uygulamalara genel olarak sıcak serim (hot lay up) denilmektedir.

Prepreg kullanarak açılı tamir kompozit yapılarla kullanılan tipik bir tamirdir, hasarlı

bölgenin açılıp uygun formda pişmemiş prepreglerden kesilerek, vakum altında ısı uygulanarak pişirmeyi kolaylaştırabilir. Ancak bu yöntem tamir alanının hazırlanması, tamir yamasının hazırlanması, ısıtılması ve pişirilmesi uzun zaman alabilmektedir [23].

Kompozit Tamirlerin Uygulamalarının Pişirilmesi İçin Gerekli Ekipmanlar/Cihazlar

Kuru veya reçine emdirilen elyafın serimden sonra ve yapıştırıcı ile plakanın yerleştirilmesinden sonra pişirilmesi için kullanılacak olan reçineye uygun olarak belli bir sıcaklık ve zamana ihtiyaç vardır. Bu da portatif olarak kullanılan bilgisayar kontrollü battaniye, lamba gibi ısıtıcılar veya fırın, otoklav gibi sabit cihazlardır. Uçak üzerinde tamir için kullanılan ısıtma yöntemleri elektrikli ısı battanileri, kızılötesi ısı lambaları (IR-infrared lambalar) ve sıcak hava cihazlarıdır. Uçaktan sökülerek pişirme yapabilmek için kullanılan cihaz fırın veya otoklavdır.

IR lamba veya fan ile pişirmede vakum torbalamaya gerek duyulmayan düşük pişme sıcaklıklarında kullanılır. 65°C sıcaklıkların üzerinde ve 1250 mm² alanı geçen tamirlerde çok etkili değildir. Bilgisayar kontrollü ısı battaniesi, iki silikon katman arasında metal bir rezistans ısıtıcının yer aldığı esnek bir ısıtıcıdır. Tamir bölgesinden geri dönüşler olarak ısıtmayı otomatik kontrol eden taşınabilir bir cihazdır. Ayrıca vakum torbası içerisinde vakum sağlayan ve görüntülenebilen destek vakum pompaları mevcuttur. Pişme döngüsü tamir alanının yanına yerleştirilen ısı sensörleri (thermocouple) ile kontrol edilmektedir [15].

Kompozit malzemeler farklı basınç uygulamaları ile pişirilebilmektedir. Fırın ise vakum torbası içerisinde sadece atmosferik koşullarındaki basınçla yüksek sıcaklık koşullarında pişirilmesi gerçekleştirilebilmektedir. Tipik fırınlar 120°C-176°C'a kadar işlem görebilmektedir [4]. Otoklav, içerisinde basıncın da mevcut olduğu fırınlardır. Otoklavlar 120°C sıcaklık ve 275 kPa basınçtan, 760°C sıcaklık ve 69,000 kPa basınç değerine kadar aralıkları malzeme ve süreçleri gerçekleştirilebilmektedir.

Yığın halinde kalıp üzerine serilen reçine emdirilmiş elyaflar, ayırıcı film, hava alan malzeme ve vakum torbası ile çevrelenmektedir. Tüm parça vakum ile çekilip ve bütün haliyle otoklav içerisine yerleştirilmektedir. Katmanlar arasında sıkışıp kalan bütün hava kabarcıkları vakum yoluyla uzaklaştırılırken parça bir yandan pişirilmektedir. Özellikle havacılık sanayisinde yaygın olan hassas bir şekilde kontrol sağlayan ve uzun ve yavaş bir pişme döngüsüne sahip bir yöntemdir. Bu hassas kontrol

sayesinde sağlamlık ve emniyet gerektiren yapıların geometrik formundan emin olunabilmektedir. Yavaş olması ve işçilik gerektiğinden dolayı maliyetli bir yöntemdir [4].

Özellikle Boeing 787 gövdesinde olduğu gibi büyük kompozit yapılar, ticari otoklav boyutlarına göre ufak parçalara ayrılamamaktadır. Ayrıca birçok endüstri sektöründe otoklav erişimi bulunmamaktadır. Bu yüzden uçak üzerinde direkt uygulanabilen yüksek kalite ve düşük gözenekli yapıda otoklav dışındaki imalat kabiliyetlerinin tamirlerin arttırılmasına gerek duyulmaktadır [24].

Kompozit Tamirlerin Uygulamalarında Yüzey Hazırlanması

Kompozit malzemelerde yapışma yüzeyinin kalitesini arttırmak için yüzeyin çeşitli kimyasal, mekanik veya enerji yöntemleri kullanılır. Genel olarak uygulamalarda mekanik ve kimyasal uygulama birlikte kullanılır. Aşındırma, zımparalama veya kumlama olarak uygulanan mekanik yöntemler genellikle yapışma birleşmesine yüzey kaplamasının uzaklaştırılması ve yüzeyin pürüzleşmesini içermektedir. Bu işlem herhangi bir elyafa hasar vermeden yapılmalıdır [25]. Plazma ve lazer ile yüzey hazırlama yöntemi de kompozit malzemelerde en çok kullanılan yöntemlerdendir. Bu yöntemlerin en önemli avantajı yapıdan malzeme uzaklaştırmadığından dolayı tamir sırasında hasar oluşturma ihtimali düşüktür. Ancak bu yöntemlerin tesiste uygulanabilmesi için yatırım gerekli olup, maliyeti arttıracak işlemler arasındadır.

Kompozit Tamirlerin Uygulamalarında Gelişen Otomasyon Süreçleri

Otomatik açma yöntemi kullanılarak işlem sırasındaki insan faktörü büyük oranda azaltılabilir. Manuel zımparalamanın yerini numerik kontrollü işlemenin alması için temel gereksinim yüzey konturu ve kalınlık dağılımı gibi bölgesel geometri bilgileri gerekebilir. 3D açılımın mobilize hali henüz yer almamaktadır. Makinenin işleme hızının 1200 mm/dakika olduğunu varsayıldığında, 1:20 ve 3 mm katman kalınlığı olan yerlerde standart bir açılı tamir 40 dakika içerisinde işlenebilmektedir [21].

FRP'lerin katman olarak serilmesinin gerçekleştirildiği diğer işlem bir eklemeli imalat yöntemidir. Güçlendirilen fiberler istenilen kalınlıkta ve matris malzemeler ile yığın halinde serilir, genel olarak termoset olarak epoksi reçineler dikkatli bir şekilde gevrek ama sağlam yapışmanın olduğundan dikkatli uygulanmalıdır. Elle serim zor ve otomatik serime göre çok uzun zaman alabilmektedir. AFP otomatik serim uygulaması, otomatik tape serimi yerleştiren baskı genel olarak geniş alanlar için uygun

olabilir. 300 mm çapının altındaki hızlı ufak ölçekli tamirler için uygun değildir. Uygulama için 3D yazıcı özellikli cihaza ihtiyaç duyabilmektedir. Uygulama açısından cihazın özelliğine göre ıslak serim veya prepreg serim uygulaması yapılabilir. Otomatik serim ile uygulanan tamirler eşit kalınlık dağılımı gösterirken, elle serimde kalınlık eşit olmayıp otomatik serime göre daha kalın olabilmektedir. Kopma dayanımları, çekme testine göre kıyaslandığında çok yakın değerler elde edilebilmektedir [26].

SİSTEMATİK TASARIM YAKLAŞIMI İLE KOMPOZİT TAMİR TASARIMININ BELİRLENMESİ

Sistematiik bakımdan, belirlenen hedeflerin kısmen çelişen kısıtlar göz önünde bulundurularak tasarımın en iyi seviyeye getirilmesidir. Gereksinimler zaman içerisinde değişebilir ve eş zamanlı olarak çözümler iyileştirilebilir [27].

Sistematiik tasarım, tasarımı ve üretim süreçlerini mantık tabanına oturtmada etkili bir yol sağlar. Orijinal tasarımdaki sıralı ve adimli yaklaşımlar giriş aşamasının kısmi bir seviyesi olsa da tekrar kullanılabilen çözümler sağlayabilecektir. Problemi yapılandırma öncelikli çözümlerin saptama ve tasarım kataloglarını kullanılması ile uygulanabilir olasılıkları anlamayı kolaylaştırabilmektedir. Daha az enerji sarf edilerek tasarımın erken aşamalarda tasarımın iyileştirmesini sağlar ve tespit edilen çözüm prensiplerinin seçimi mümkün kılabilir [27].

Pahl ve Beitz (2007) sistematiik tasarım yaklaşımı dört aşamayı içerir. Bunlar görevin belirlenmesi (İhtiyaç listesi hazırlama, kavramsal tasarım, şekillendirme tasarımı ve ayrıntılı tasarımıdır [27].

İhtiyaçlar Listesinin Hazırlanması

Sistematiik tasarımını yaklaşımı kullanarak gerçekleştirilirken tasarım kriterlerini kapsayan bir ihtiyaç listesi hazırlanması gerekmektedir. Tamir tasarım için mühendislik açısından teknik şartnamede statik dayanım ve kararlılık, tamirin dayanıklılığı, sağlamlık gereksinimleri, aerodinamik yüzey gerekliliği, ağırlık ve denge, operasyon sıcaklıkları, çevresel etkiler, takılı uçak sistemlerine uyumu, maliyet ve takvimden özelliklerini belirleyen teknik bir şartname hazırlanması gerekmektedir. İhtiyaçlar (İ) kısaltması ile gösterilirken, istenilen ve değişken olabilecek özellikler (A) harfi ile kısaltılmıştır. Buna göre Tablo 4'te gibi kompozit tamir tasarımı için genel bir teknik şartname hazırlanmıştır.

İhtiyaç listesi hazırlanması, tasarım görevine netlik kazandırarak ilgili sorunlara odaklanmaya yardımcı olacak ve gerekli bilgi düzeyini büyük

ölçüde arttıracaktır. İhtiyaç listesinin hazırlanması sonraki aşamalar için belirleyici olacaktır. Problemin kaynağını doğrulamaya ve ihtiyaçları tarafsız bir şekilde önem sırasına göre ihtiyaç listesini oluşturmaya dikkat edilmelidir. Fonksiyonel ilişkilerde temel kısıtlamalar ve temel koşullar belirlenmelidir. Belirlenen kısıtlamalar sorgulanmalı ve müşteri isteklerine göre uygunluğu kontrol edilmelidir [27].

Fonksiyon Yapısının Kurulması

Bir sistem, çevre ile bağlantılarını koparan bir sınırın etkisi ile karakterize edilmektedir. Bu bağlantılar sistem dış davranışını belirler, böylelikle girdi ve çıktılar ilişkisindeki fonksiyonlar ifade edilebilir, sonuç olarak sistem değişkenlerin büyüklükleri değişebilir [27]. Sistematik tasarım açısından teknik bir problemi çözebilmek için, girdi ve çıktılar arasında kolay ve anlaşılır bir yeniden üretilebilir bir sisteme ihtiyaç vardır. Bu amaçla kompozit tamir tasarımında problemlerin tanımlanması ve çözebilmesi amacıyla istenilen girdi ve çıktı ilişkilerine fonksiyon koşulları uygulanır.

Kompozit tamir tasarımında sisteme malzeme (M), enerji (E) ve sinyaller (S) olarak girdiği tasarımda bir tasarım kriterlerine karşılık bir fonksiyonunu gerçekleştirdikten sonra M', E' ve S' olarak çıkmaktadır. Fonksiyon şeması oluşturulurken, fonksiyonların ilişkilerin tanımlanmasına yönelik sorgulamalar yapılmaktadır. Alt fonksiyon olarak da malzemenin hazırlanması, hasarın tespit edilmesi ve tamir ekipmanının kurulup çıkarılması fonksiyonları içermektedir. Fonksiyon şemasında tanımlanan alt fonksiyonlar, çözüm yolu için matris oluşturmada belirleyici bir unsur olarak değerlendirilecektir. Malzeme seçilmesi ile güçlendirici yamanın hazırlanması ile tamir uygulama ekipmanının sıcaklık, basınç ve süre ile ilgili bağlantı olduğundan kendi içerisinde bir girdi ve çıktılar bulunan alt fonksiyonları olarak değerlendirilebilir. Buna uygun olarak da malzemenin seçimi, uygulanması ve pişirme koşullarını belirleyen bu alt fonksiyonlar kendi içerisinde değerlendirilmesi ve çözüm alternatiflerine buna uygun olarak seçilmesi öngörülmektedir.

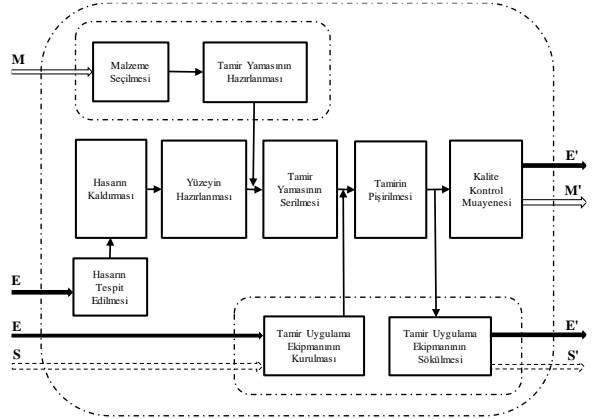
Hasarın tespit edilmesi sinyalinin sisteme girmesi ile başlayan ve hasarın kaldırılmasından kalite kontrol muayenesine kadar olan alt fonksiyonlar da kendi içerisinde değerlendirilecektir. Buna göre iki farklı alt fonksiyon grubuna ait oluşturulan çözüm varyantları arasında uyum ve eşleşme gerçekleştirilebilecektir.

Alt Fonksiyonlar ve Çözüm Varyantları

Bütün fonksiyonlar alt görevlere karşılık gelen alt fonksiyona bölünebilir. Alt fonksiyonlar arasındaki ilişki ve bütün fonksiyon kesin kısıtlar ile yönetilir.

Tablo 4. İhtiyaçlar Listesi

SIRA	İHTİYAÇ LİSTESİ/İSTENİLEN ÖZELLİKLER	(A)/(İ)	FAKTÖR
1	Tamir boyutu (genişlik, en, yükseklik) mümkün olan en küçük boyutta olmalı	(İ)	Ağırlık Ve Denge
2	Tamir yaması hafif olmalı, simetrik ve dengeli olmalı	(İ)	
3	Tamir yamasının elyaf yönleri ve dizimi tasarıma ait statik yükleri taşıyabilecek şekilde tasarlanmalı	(İ)	
4	Kopma yüküne dayanabilmeli ve yapışal bütünlüğü koruyacak şekilde tasarlanmalı	(A)	Dayanım Ve Rijitlik
5	Tasarıma ait statik yük dayanmalı	(A)	
6	Darbelerle karşı sönümleyici ve dayanıklı olmalı	(A)	
7	Entegre olacağı parçayla aynı servis ömrüne sahip olmalı	(A)	
8	Aerodinamik düzgünlük istenen yüzeylere uyum sağlayabilmeli	(A)	
9	Reçinenin nem emilimi, sıcak ve ıslak ortamda bulunması önlenmeli	(A)	Çevresel Etkiler
10	Korozyona karşı önlemler alınmış olmalı	(A)	
11	Operasyonel sıcaklıklara dayanabilecek malzeme tercih edilmeli	(A)	
12	Dayanımı sağlayabilecek en hafif malzemelerden tasarlanmalı	(A)	
13	Tamir sırasında yakıt sistemleri kirlenmemeli	(İ)	Malzeme
14	Hareketli parçaları kısıtlamayacak şekilde tasarlanmalı	(İ)	
15	Elektriksel iletkenliği sağlamalı, yıldırım/şimşek çarpmalarına karşı korumalı	(İ)	
16	Seri üretime uygun ve erişilebilir malzemeler tercih edilmeli	(İ)	Maliyet ve Zaman
17	Pişirme süresi ve sıcaklığı optimize edilmeli	(İ)	
18	Hızlı ve kolay erişilebilir ekipmanlar kullanılarak imal edilebilmeli	(İ)	
19	Tesis içerisinde veya uçak üzerinde tamir edilebilmeli	(İ)	
20	Delik delme, kesme ve zımparalama gibi işlemleri sırasında hasarlanmamalı	(A)	İmalat, Montaj ve Operasyon
21	Hızlı işleme alınabilmeli, pratik yöntemlerle uygulanabilir olmalı	(A)	
22	Çevresindeki yapılara uyum sağlayabilmeli, kolay entegre edilebilmeli	(A)	
23	Malzeme depolama (soğutucu), ısıtma-hazırlama süresi, out-time bilgileri kayıtlı olmalı	(A)	
24	Pişirme döngüsüne ait sıcaklık, basınç, vakum bilgilerinin takip ve kontrol edilebilmeli	(A)	Kalite Kontrol
25	Yapışma yüzeyleri kabul edilebilir yeterlilikte olmalı	(İ)	
26	Tamir sonrası tahribatsız muayene ile kontrol edilebilmeli.	(A)	



Şekil 3. Fonksiyon şeması

Diğer bir taraftan, alt fonksiyonları farklı yollarla birbirine bağlamak mümkündür ve bu nedenle varyantlar oluşturulur. Bütün durumlarda bağlantılar uyumlu olmalıdır. Bütün fonksiyonlar içerisindeki alt fonksiyonların anlamlı ve uyumlu birleşimi, fonksiyon yapısı olarak adlandırılır. Bu nedenle süreç ve sistemleri içeren blok diyagram çizilmesi faydalı olabilir [27]. Şekil 3'te kompozit tamir tasarımına ait çizilen fonksiyon şeması için iki farklı alt fonksiyon varyantları belirlenip, değerlendirmeden sonra uyumlu varyantlar eşleştirilebilecektir.

Buna uygun olarak hasarın kaldırılmasından takviye tasarımını kapsayan süreç için Tablo 5'te yer alan çözüm alternatifleri belirlenmiş olup, Tablo 7'deki gibi on beş adet (15) olası Çv çözüm varyantları eşleştirilmiştir. Tablo 5'te yer alan çözüm varyantları eşleştirirken yüzey hazırlanması ile ilgili uygulanan mekanik ve enerji yöntemleri tüm çözüm varyantlarında aynı şekilde var olabileceği ön görülmektedir. Buna uygun olarak bu aşamada yüzey hazırlanması ile ilgili çözüm varyantı yüzey hazırlamadan bağımsız olarak değerlendirilecektir. Tablo 6'da ise malzemenin kuru, reçine emdirilmiş ekipmanı kabiliyetleri ve kalite kontrol sürecini bütün olarak belirleyeceğinden malzeme seçimi ve tamir ekipmanlarının uygulanması kendi içerisinde çeşitlendirilecektir. Buna uygun olarak Tablo 7'deki on (10) Mv malzeme çözüm varyantı olarak değerlendirilmiştir. Malzeme çözüm varyantı için "Genel Malzeme Kavramları ile Islak ve Sıcak Serim Tanımları" bölümünde bilgi verilmiştir.

Ayrıca birbirinden bağımsız olarak değerlendirilen bu iki çözüm varyantlarının aralarında uyum olduğundan emin olmak için Çv varyantları ile Mv varyantları arasında matris oluşturulmuştur. Aralarında karşılıklı uyum olan çözüm varyantları için eşleşen alternatif Tablo 7b ile belirtilmiştir. Buna uygun olarak Çv1, Çv13 ve Çv15 varyantlarının hepsinin de Mv1 – Mv8 arasındaki bütün varyantlarla uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Çv6 sadece Mv5-Mv8 çözüm varyantları ile uyum sağlarken, Çv5 ise Mv1- Mv4 ile uyum göstermektedir. Malzeme seçimi ve uygulaması için belirlenen Mv9 ve Mv10 varyantları ise geriye kalan Çv2, Çv3, Çv4, Çv5, Çv8, Çv9, Çv10, Çv11, Çv12 ve Çv14 varyantları ile uyum sağlamaktadır. Bu aşamada bu tespit edilen varyantların azaltılabilmesi için iki farklı seçim kartından yararlanılacaktır.

Çözüm Varyantlarının Seçilmesi

Belirlenen çözüm varyantlarında teorik olarak kabul edilebilir olsa da pratik uygulamada başarılı olmayabilir, bu nedenle erken aşamalarda çözümlerin azaltılması gerekmektedir. Bu nedenle eleme ve tercih olarak iki aşamalı olarak azaltılabilir. Öncelikli olarak uygun olmayan öneriler elenmelidir ve çok fazla çözüm olduğunda en uygun olarak tercih edilmelidir.

Çok fazla çözüm derlendiğinde seçim kartı uygulanmalıdır. Seçim kartı uygulanırken, görevler birbiriyle uyumlu olmalı, ihtiyaç listesini karşılanmalı, performans yerleşim gibi kriterlere göre gerçekleştirilmeli ve izin verilen maliyetler içerisinde olmalıdır [24]. Buna uygun olarak kompozit tamir tasarımına ait Tablo 7'de elde edilen çözüm varyantlarının eleme ve tercih yapılması için Tablo

8'de Çv ve Mv için iki ayrı seçim kartı uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Tablo 5. Hasarın Kaldırılması, Yapının Hazırlanması ve Güçlendirilmesi Alt Fonksiyonlarına Ait Çözüm Yolları

Çözüm Yolu	A	B	C	D	E
1. Hasarı Kaldırması					
2. Yüzeyin Hazırlanması	Mekanik	Enerjik			
3. Takviye Yama Serilmesi - Dolgu Tasarımı	N/A				
4. Takviye Yamanın Serilmesi- Takviye Tasarımı					

Tablo 6. Malzemenin Hazırlanması, Pişirilmesi ve Kalite Kontrolü Alt Fonksiyonlarına Ait Çözüm Yolları

Çözüm Yolu	A	B	C	D
1. Yapıştırıcı Malzeme	N/A	Yapıştırıcı (C stage termoset)		
2. Serim Yöntemi				
3. Güçlendirici Malzemenin Belirlenmesi	Kuru Elyaf + A Stage Termoset	Reçine Emdirilmiş Elyaf (Prepreg -B stage Termoset)	Pişirilmiş Plaka (Prepreglen)	
4. Vakumlama	Ticari Vakum Torbası	Çift Vakum Yığını		
5. Pişirme Döngüsü (Sıcaklık-Süre-Basınç)	Sıcaklık: 25°C, Süre: 3-5 gün Basınç: 1 atm	Sıcaklık: 80°C Süre: 3-5 saat Basınç: 1 atm	Sıcaklık: 120°C-180°C Süre: 2-3 saat Basınç: 1 atm	Sıcaklık: 120°C-180°C Süre: 2-3 saat Basınç: 3-7 atm
6. Pişirme Ekipmanı	Oda Koşulları	Portatif Isıtıcı (Heat Bonder- Isıtıcı Battanije)	Sabit Isıtıcı (Firm/Otoklav)	
7. Kalite Kontrol	Gözle/Vuruş (Tap)	Ultrasonik/ X-Ray		

Tablo 7. Çözüm Varyantları Ve Uyum Tablosu

	1	2	3	4	5	6	7		MV1	MV2	MV3	MV4	MV5	MV6	MV7	MV8	MV9	MV10	MV11	MV12	
CV1	A	AB	AA					CV1													
CV2	A	AB	AB					CV2													
CV3	A	AB	AC					CV3													
CV4	A	AB	AD					CV4													
CV5	A	AB	AE					CV5													
CV6	B	AB	CA					CV6													
CV7	B	AB	DA					CV7													
CV8	B	AB	CB					CV8													
CV9	B	AB	CC					CV9													
CV10	B	AB	CD					CV10													
CV11	B	AB	CE					CV11													
CV12	C	AB	AB					CV12													
CV13	C	AB	BA					CV13													
CV14	D	AB	AB					CV14													
CV15	D	AB	BA					CV15													

Seçim kartına uygulandıktan sonra Çv1, Çv3, Çv4, Çv13, Çv14 ve Çv15 olarak altı (6) varyant ile Mv2, Mv5, Mv6 ve Mv9 dört (4) varyant ön plana çıkmaktadır. Çözüm varyantlarında eleme gerçekleştirirken kuru elyaf ile ıslak serim içeren tasarım çözümleri hem yapısal açıdan yeterli olmadığı öngörülerek ve tamir sonrası gözenek,

yapışmama gibi hatalar tespit edilme ihtimalinin yüksek olduğu düşünülerek tercih edilmemiştir. Bu nedenle Mv2 ve Mv6 çözüm varyantları bu aşamada tercih edilmemiştir. Bu göre seçilen altı (6) Çv ve kalan iki (2) Mv varyantları arasında Tablo 7c'ye göre aralarında bulunan uyum için Tablo 9'daki gibi yeniden değerlendirilmiştir. Eşleştirilme yapıldıktan sonra Çv1-Mv5, Çv3-Mv9, Çv4-Mv9, Çv13-Mv5, Çv14-Mv9 ve Çv15-Mv5 olası çözüm varyantları olarak ilerleyen değerlendirmede göz önünde bulundurulabilecektir.

Tablo 8. Mv Çözüm Varyantları İçin Seçim Kartı

SEÇİM KARTI		KARAR						
Çözüm varyantları (Sv)	Şunlarla değerlendirilen çözüm varyantları (Sv)	KARAR						
	Seçim Ölçütleri	Çözüm Varyantlarının İncelenmesi						
	(+) Evet	(+) Çözümü Sürdür						
	(-) Hayır	(-) Çözümü İptal Et						
	(?) İhtiyaç Listesini Kontrol Et	(?) Bilgi Topla ve Çözümü Tekrar Değerlendir						
	Uyum Güvencesi	(?) Değişiklikler İçin İhtiyaç Listesini Kontrol Et						
	İhtiyaç Listesini Karşılama	İlke Olarak Gerçekleşme						
	Maliyet Hedefleri Limitin İçerisinde	Doğrudan Emniyet Önlemi Sağlaması						
	Tasarımcı Şirketin Tercih Etmesi	Yeterli Bilgi						
	Notlar	KARAR						
A	B	C	D	E	F	Notlar	KARAR	
MV1	+	?	+	+	-	-	Uzun zaman ihtiyacı	-
MV2	+	?	+	+	!	-	Dayanım açısından zayıf	-
MV3	-	-	+	-	+	-	Serim maliyeti ve yapıma kalitesi	-
MV4	-	-	+	-	+	+	Serim maliyeti ve yapıma kalitesi	-
MV5	+	+	+	+	?	+	Serim maliyeti ve yapıma kalitesi	+
MV6	+	+	+	+	-	?	Tesis kabiliyeti	+
MV7	-	-	+	!	?	+	Dayanım açısından zayıf	-
MV8	-	-	+	!	?	-	Parçada hasar oluşturma	-
MV9	+	-	+	+	-	+	Yapısmada yeterlilik riski	+
MV10	+	-	+	-	-	-	Parçada hasar oluşturma	-
MV11	+	+	+	?	!	?	Yeni uygulama ihtiyacı	-
MV12	+	+	+	?	!	?	Yeni uygulama ihtiyacı	-

Çözüm Varyantlarının Tanıtımı

Seçim kartı kullanılarak Çv1-Mv5, Çv3-Mv9, Çv4-Mv9, Çv13-Mv5, Çv14-Mv9 ve Çv15-Mv5 çözüm varyantları değerlendirilmesine için karar verilmiştir. Çözüm varyantı olarak Çv1, Çv3 ve Çv4 çözüm varyantlarının ortak özelliği hasarı kaldırmadan yapı üzerine serim yapılmasıdır. Çv13, Çv14 ve Çv15 çözümlerinin ortak özellikleri malzeme kaldırmayı önermesidir. Bunu Çv13 için adım ile açılmasını içerirken, Çv14 ve Çv15'te açılı olarak açılması önermektedir. Mv5 varyantında önceden reçine emdirilerek imal edilen malzemelerin adım kesitinde açılan yapıya örtüştürülerek serimi içermektedir.

Mv9'da ise farklı konfigürasyonlara sahip pişirilmiş plaka halindeki yapıların kullanılmasını önermektedir. Mv9'daki varyant ise Çv3 ve Çv4 arasındaki fark tesisin kabiliyetleri açısından değerlendirilmelidir. Tüm varyantların ortak özellikleri takviye yamasının pişirilmesi için tesis içerisinde veya uçak üzerinde portatif ısıtıcı ekipman kullanılarak tamir edilmesidir Tablo 10'da bu altı farklı kompozit tamir tasarım çözüm varyantı için modelleme yapılarak, tasarımın içeriği kısa şekilde ifade edilmiştir. Tabloda yer alan varyantların en

uygunun seçilmesi için ek değerlendirilmelere ile eleme gerçekleştirilecektir.

Tablo 9. Çv Çözüm Varyantları İçin Seçim Kartı

SEÇİM KARTI		KARAR						
Çözüm varyantları (Sv)	Şunlarla değerlendirilen çözüm varyantları (Sv)	KARAR						
	Seçim Ölçütleri	Çözüm Varyantlarının İncelenmesi						
	(+) Evet	(+) Çözümü Sürdür						
	(-) Hayır	(-) Çözümü İptal Et						
	(?) İhtiyaç Listesini Kontrol Et	(?) Bilgi Topla ve Çözümü Tekrar Değerlendir						
	Uyum Güvencesi	(?) Değişiklikler İçin İhtiyaç Listesini Kontrol Et						
	İhtiyaç Listesini Karşılama	İlke Olarak Gerçekleşme						
	Maliyet Hedefleri Limitin İçerisinde	Doğrudan Emniyet Önlemi Sağlaması						
	Tasarımcı Şirketin Tercih Etmesi	Yeterli Bilgi						
	Notlar	KARAR						
A	B	C	D	E	F	Notlar	KARAR	
CV1	+	-	+	+	!	+	Uzun zaman ihtiyacı	+
CV2	+	-	+	+	!	-	Dayanım açısından zayıf	-
CV3	+	-	+	-	+	?	Kabiliyet ihtiyacı	+
CV4	+	-	+	-	+	?	Pişirme ekipmanı ihtiyacı	+
CV5	+	+	+	-	?	?	Otomatik serim maliyeti	-
CV6	+	-	+	-	?	?	Serim maliyeti ve yetersiz bilgi	-
CV7	+	-	+	+	?	-	Dayanım açısından zayıf	-
CV8	+	-	+	+	?	-	Parçada hasar oluşturma	-
CV9	?	-	+	+	-	+	Yapısmada yeterlilik riski	-
CV10	?	-	+	+	-	+	Parçada hasar oluşturma	-
CV11	?	-	+	+	-	?	Uzun zaman ihtiyacı	-
CV12	+	-	+	-	-	+	Parçada hasar oluşturma	-
CV13	+	+	+	-	+	?	Uzun zaman ihtiyacı	+
CV14	+	-	+	-	+	+	İmalat açısından zor	+
CV15	+	+	+	-	+	?	İmalat açısından zor	+

Tablo 10. Seçilen Çözüm Varyantları ve Uyumluları

	MV1	MV2	MV3	MV4	MV5	MV6	MV7	MV8	MV9	MV10	MV11	MV12
ÇV1												
ÇV2												
ÇV3												
ÇV4												
ÇV5												
ÇV6												
ÇV7												
ÇV8												
ÇV9												
ÇV10												
ÇV11												
ÇV12												
ÇV13												
ÇV14												
ÇV15												

Çözüm Varyantlarının Elenmesi

Önerilen çözümler için final değerlendirilmesi yapmadan önce daha detaylı ve ölçülebilir kriterler kullanılarak elenmesi gerekmektedir. Bu değerlendirme teknik, emniyet, çevre ve ekonomik değerleri içermelidir. Seçim sürecinin daha detaylandırılır ve çözümlerin mevcut değerlerinin tespit edilir.

Değerlendirme olarak değer, kullanılabilirlik veya dayanım gibi çözümler amaç olarak belirlenir. Çözüm varyantlarının karşılaştırılması ideal çözüm için puanlama ya da ideale yakınlık derecesi olarak karşılaştırmayı kapsamaktadır

Maliyet kazanç analizi hiyerarşik bir sıralama ile amaçlar ağacı sistemi oluşturulması anlamı gelmektedir. Ağırlık değerlendirme kriteri bir

değerlendirme kriteri olarak tüm çözümler içerisinde göreceli katkısına değer verilmesi ve göreceli olarak daha önemsiz olanlar başlamadan önce elenebilir. Ağırlık faktörü olarak değerlendirme aşamasında hesaba katılması gerekir.

Amaçlar ağacı hazırlanırken, problemleri ortadan kaldırıp, çözebilecek pozitif etkilere dönüştüren bir yapıyı içermektedir. Buna uygun olarak amaçlar ağacında bulunan tasarım kriterlerini olumlu yönde etkileyecek yapıda kriterlerden oluşturulmasına ihtiyaç duymaktadır.

Değer Profili Karşılaştırması

Kabul edilebilir kompozit tamir tasarım varyantlarının arasında en uygun olanın seçilebilmesi için zayıf bölgelerin araştırılması gerekmektedir. Ortalama ağırlık değeri Tablo 10'a göre hesaplanan çözüm varyantlarının bu değer altında kalan bölgeler eksik alan olarak hesaba katılır. Buna göre de en az eksikliği olan çözüm varyantı en ideal tasarım çözümü olarak belirlenir. Buna göre değerlendirildiğinde en yüksek değere sahip olan Çv1-Mv5 ve Çv4-Mv9 değer profil diyagramları karşılaştırılmalı olarak Tablo 12'deki gibi çizilmiştir

Ortalama değeri 7,53 olan Çv1-Mv5 varyantının bu değer altında kalan alanın toplamı %8,29 hesaplanmaktadır. Diğer Çözüm varyantı Çv4-Mv9 içinse ortalama değer 8,04 olup, bu değer altında kalan alan %4,54'tür. Sonuç olarak Çv4-Mv9 çözüm varyantının daha az eksikliği tespit edilmiş olup, en uygun tasarım çözümü olarak önerilmektedir.

Tasarım Çözümü

Sistematiik tasarım yaklaşım adımlarının uygulanması sonucunda Çv4-Mv9 çözüm varyantının, en uygun tasarım çözümü olarak önerilmektedir. Bu tasarım çözümü kapsamında tamir tasarımı gerçekleştirirken mevcut yapıda malzeme kaldırmadan uygulanması önermektedir. Bu uygulamada hasarın kaldırılması sırasında ek hasarlar verilmesine ve yapının daha da yük kapasitesini düşürülmesine engel olunabilecektir. Reçine emdirilen ve yığın halde hazır bulunan tamir yamasının yapı üzerinde hasarın merkezi belirlenerek konumlandırılması gerekmektedir. İkincil yapıştırma modeli olan tasarımda iki pişirilmiş yapının yapıştırılabilmesi için yüksek sıcaklıklarda pişebilen yapıştırıcı film uygulanması gerekmektedir. Tamirin uygulanması için portatif ısıtıcılar aracılığıyla ile gerçekleştirilecektir. Bu da mevcut yapının sökülüp takılmasına gerek olmadan gerçekleştirilmesine imkân vermektedir. Özellikle yapıştırma bağlantılarında yamaların uçlarının açılı olarak çıkarılması yapışkanın soyulma etkisini

azaltabileceğinden dayanımına olumlu bir etki sağlamaktadır.

Tablo 11. Çözüm Varyantların Tanıtılması

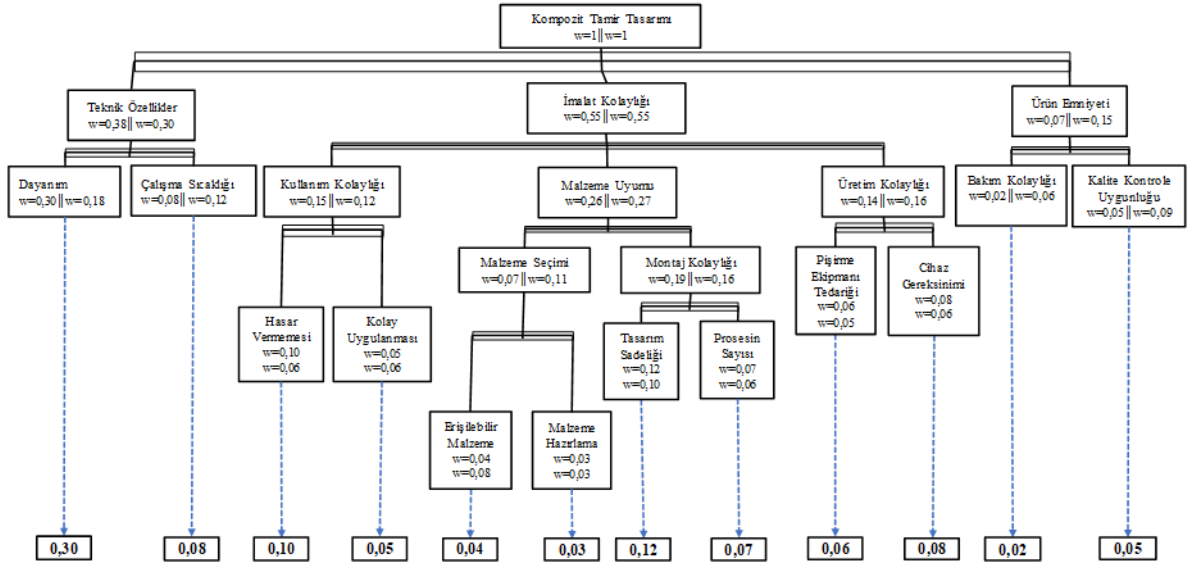
Çözüm Varyantı	Tasarım Modeli	Tasarımın Tanımı
Çv1-Mv5		<ul style="list-style-type: none"> - Hasarı kaldırmadan - Yapıştırıcı film kullanımı - Adımlı katman serim - Manuel uygulama - Portatif ısıtıcı - Prepreg malzeme
Çv3-Mv9		<ul style="list-style-type: none"> - Hasarı kaldırmadan - Yapıştırıcı film kullanımı - Pişmiş yama ekleme - Manuel uygulama - Portatif ısıtıcı - Dışa bakan uç açılı
Çv4-Mv9		<ul style="list-style-type: none"> - Hasarı kaldırmadan - Yapıştırıcı film kullanımı - Pişmiş yama ekleme - Manuel uygulama - Portatif ısıtıcı - İçe doğru açılı yapı
Çv13-Mv5		<ul style="list-style-type: none"> - Hasarı adım kaldırma - Yapıştırıcı film kullanımı - Adımlı katman serim - Manuel uygulama - Portatif ısıtıcı - Prepreg malzeme - Dolgu eklemeli
Çv14-Mv9		<ul style="list-style-type: none"> - Hasarı açılı kaldırma - Yapıştırıcı film kullanımı - Pişmiş yama ekleme - Manuel uygulama - Portatif ısıtıcı - İçe doğru açılı yapı - Dolgu eklemeden
Çv15-Mv5		<ul style="list-style-type: none"> - Hasarı açılı kaldırma - Yapıştırıcı film kullanımı - Açılı katman serim - Manuel uygulama - Portatif ısıtıcı - Prepreg malzeme - Dolgu eklemeli

SONUÇLAR

Sistematiik tasarım yaklaşımı amacıyla oluşturulan ihtiyaç listesine en uygun olarak çözümün belirlenmesinde alt fonksiyonlar içerisinde hem dayanım, hafiflik gibi mühendislik kavramları içeren hem de firma kabiliyetleri ve maliyet gibi mühendislik dışı kriterlerin değerlendirmesi sonucu en iyi tasarım önerisi oluşturulmuştur. Bunları gerçekleştirirken çözüm varyantları arasında eleme yapılması için karar ağacı oluşturulmuştur ve değer analiz çizelgesine yansıtılarak en uygun iki tasarıma ulaşılmıştır. Bu tasarımlar arasında sistematiik olarak

karar verilmesi için de değer profil diyagramları karşılaştırılmıştır ve ortalama değere en çok sağlayan tasarım en iyi tasarım olarak elde edilmiştir. Fiber takviyeli polimerler için gerçekleştirilen bu tamir tasarımı sistematik tasarım adımlarına uyarlanmıştır ve gelişen tamir teknolojileri göz önünde bulundurulduğunda belirlenen alt fonksiyonlara ait çözüm varyantları

çeşitlendirmesi ön görülmektedir. Ayrıca tamirin uygulanacağı tesisin kabiliyetlerinde gelişmeler için çözüm varyantları için oluşturulan değerlendirme çizelgelerin güncellenmesi söz konusu olabilecektir. Bu kapsamda sonuç olarak kompozit tamir tasarımı ait sistematik tasarım adımlarına uyum sağlayarak, en uygun tasarım çözümünün belirlenmesine rehberlik etmiştir.

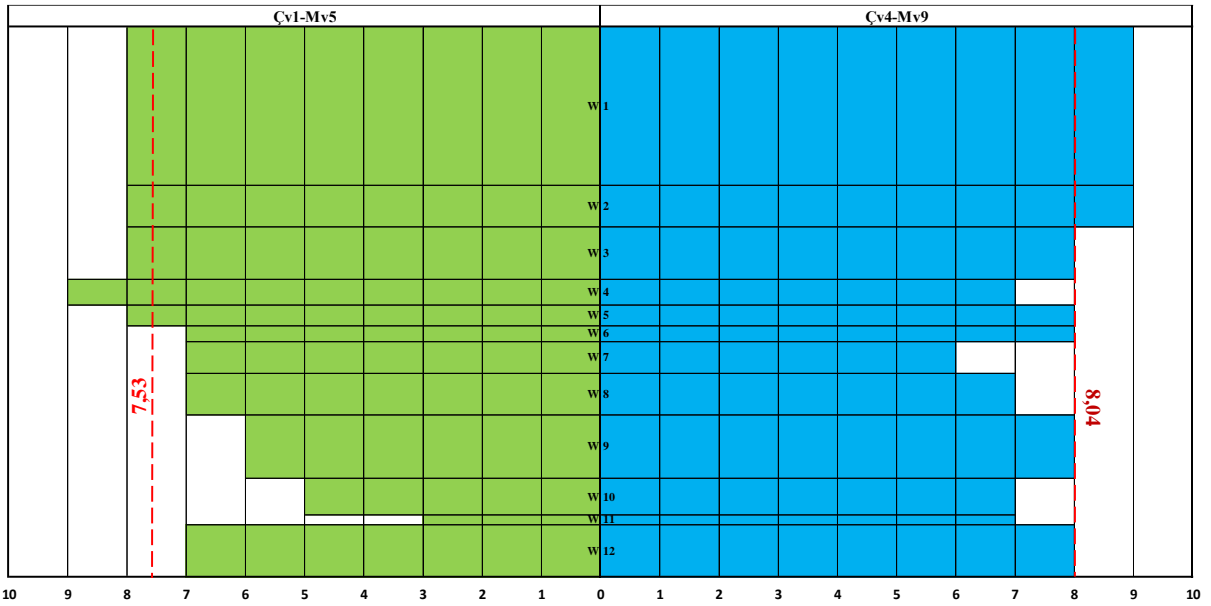


Şekil 4. Amaçlar ağacı

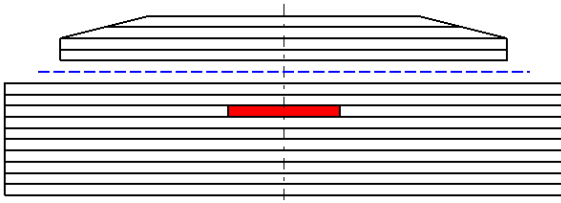
Tablo 11. Değer Analiz Çizelgesi

Değerlendirme Çizelgesi			CV13-MV5			CV14-MV9			CV15-MV5		
Kriter	W	Parametreler	Oran	Değer	Ağırlık Değeri	Oran	Değer	Ağırlık Değeri	Oran	Değer	Ağırlık Değeri
1	0,3	Dayanım	Çok iyi	8	2,4	Çok iyi	9	2,7	Çok iyi	9	2,7
2	0,08	Çalışma Sıcaklığı	Çok iyi	8	0,64	Çok iyi	9	0,72	Çok iyi	9	0,72
3	0,1	Hasar vermemesi	Uygun	5	0,5	Uygun	4	0,4	Uygun	4	0,4
4	0,05	Kolay uygulanması	iyi	7	0,35	iyi	6	0,3	iyi	6	0,3
5	0,04	Erişilebilir Malzeme	Çok iyi	8	0,32	Çok iyi	8	0,32	Çok iyi	8	0,32
6	0,03	Malzeme Hazırlama	Uygun	4	0,12	iyi	7	0,21	iyi	6	0,18
7	0,06	Pişirme Ekipmanı Tutarlığı	iyi	7	0,42	iyi	6	0,36	iyi	7	0,42
8	0,08	Çihaz Gereksinimi	iyi	6	0,48	iyi	7	0,56	iyi	7	0,56
9	0,12	Tasarım Sadeliği	iyi	7	0,84	Uygun	5	0,6	iyi	6	0,72
10	0,07	Prosesin Sayısı	Çok iyi	8	0,56	Uygun	4	0,28	Uygun	5	0,35
11	0,02	Bakım Kolaylığı	iyi	7	0,14	iyi	7	0,14	Çok iyi	8	0,16
12	0,05	Kalite Kontrolü Uygunluğu	iyi	7	0,35	Uygun	5	0,25	iyi	7	0,35
ΣWt= 1			ΣAd4= 82 Σd4= 7,12			ΣAd5= 77 Σd5= 6,84			ΣAd6= 82 Σd6= 7,18		

Değerlendirme Çizelgesi			CV1-MV5			CV3-MV9			CV4-MV9		
Kriter	W	Parametreler	Oran	Değer	Ağırlık Değeri	Oran	Değer	Ağırlık Değeri	Oran	Değer	Ağırlık Değeri
1	0,3	Dayanım	Çok iyi	9	2,7	Çok iyi	8	2,4	Çok iyi	9	2,7
2	0,08	Çalışma Sıcaklığı	Çok iyi	9	0,72	Çok iyi	8	0,64	Çok iyi	9	0,72
3	0,1	Hasar vermemesi	Çok iyi	8	0,8	iyi	7	0,7	Çok iyi	8	0,8
4	0,05	Kolay uygulanması	iyi	7	0,35	iyi	6	0,3	iyi	7	0,35
5	0,04	Erişilebilir Malzeme	Çok iyi	8	0,32	Çok iyi	8	0,32	Çok iyi	8	0,32
6	0,03	Malzeme Hazırlama	iyi	6	0,18	iyi	7	0,21	Çok iyi	8	0,24
7	0,06	Pişirme Ekipmanı Tutarlığı	iyi	6	0,36	iyi	6	0,36	iyi	6	0,36
8	0,08	Çihaz Gereksinimi	iyi	7	0,56	iyi	7	0,56	iyi	7	0,56
9	0,12	Tasarım Sadeliği	iyi	6	0,72	Uygun	5	0,6	Çok iyi	8	0,96
10	0,07	Prosesin Sayısı	Uygun	5	0,35	iyi	6	0,42	iyi	7	0,49
11	0,02	Bakım Kolaylığı	iyi	6	0,12	Uygun	4	0,08	iyi	7	0,14
12	0,05	Kalite Kontrolü Uygunluğu	iyi	7	0,35	iyi	6	0,3	Çok iyi	8	0,4
ΣWt= 1			ΣAd1= 84 Σd1= 7,53			ΣAd2= 78 Σd2= 6,89			ΣAd3= 92 Σd3= 8,04		



Şekil 5. Değer profili diyagramı



Şekil 6. Tasarım kararı

ÇIKAR ÇATIŞMASI BİLDİRİMİ (CONFLICT OF INTEREST STATEMENT)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması bildirilmemiştir.

KAYNAKLAR

1. D. V. Rosato, Designing With Reinforced Composites. Carl Hanser Verlag GmbH & Co, 1997.
2. Tri-Dung Ngo, Introduction to Composite Materials. InnoTech Alberta-Alberta Innovates, University of Alberta, 2019
3. E.P. Irving, C. Soutis, Polymer Composites in the Aerospace Industry. Woodhead Publishing, UK, 2014
4. FAA & ASA, Aviation Maintenance Technician Handbook: *Airframe, Volume 1*. USA 2018
5. "Out of Autoclave Structural Prepreg Composites" Sampe Journal- pp. 13, 2017.

6. S. Budhe, M: D: Banea, S. De Barros, "Bonded repair of composite structures in aerospace application: a review on environmental issues", *Applied Adhesion Science*, Vol. 6 Article number: 3, 2018.
7. F.C. Campbell, Structural Composite Material. ASM International Chapter 12, USA, 2010.
8. A. Baker, A Gunnion and J. Wang" On the Certification of Bonded Repairs to Primary Composite Aircraft Components". *Journal on Adhesion* 2015. Do: <https://doi.org/10.1080/00218464.2014.883315>.
9. C. Duong, C. H. Wang Composite Repair: *Theory & Design*. Elsevier BV., Netherlands, 2007
10. Elham Fouladi ve Ali Abedian, Systematic Design Method for Bonded Repair Based on Axiomatic Design Methodology, 9th International Conference on Axiomatic Design – ICAD 2015, 2015.
11. Dzung, Cong N., and Chu Hui Wang. Composite repair theory and design. 1st. USA, Australia: Elsevier, 2007.
12. Marioli-Riga, Z., and E. E. Gdoutos. "Composite Patch Repair Methodology for Damaged Aircrafts Structural Components." 2004 SEM Annual Conference. 2004. 7-10.
13. Mayda M., Börklü Hüseyin R., Yeni Bir Kavramsal Tasarım İşlem Modeli, *Tünav Bilim Dergisi*, 2018

14. Gürcüm B. H., Ezer Ö., Tekstil Ürün Tasarımında Sistemik Yaklaşım: Kavramsal Tasarım Metodu, Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, 2016
15. Nondestructive testing of damage in aerospace composites, pp. 437
16. R. B. Heslehurst, Engineering Repairs of Composite Structures, CRC Press, Taylor & Francis Group LLC, USA, 2019.
17. FAA, "AC20-107- and JAA ACJ 25.603-Composite Aircraft Structure". USA, 2007.
18. Davis, M.J., "Bonded Repairs: Principles and Practice", Int. Conf. On Aircraft Damage Assessment and Repair". Melbourne, 1991
19. R. B. Heslehurst (Engineering Repair Of Composite Structures. CRC Press, Taylor & Francis Group LLC, USA, 2019.
20. MIL-HDBK-17-3F, Composite Materials Handbook, Volume 3, Polymer Matrix Composites Materials Usage, Design, And Analysis, USA 1997
21. D. Holzhüter, A. Pototzky, C. Hühne and M. Sinapius, "Automated Scarfing Process for Bonded Composite Repairs" *Adaptive, Tolerant And Efficient Composite Structures*. pp. 297-307, 2012. do: 10.1007/978-3-642-29190-6_23.
22. M. D. Isaac, O. Ishai, Engineering Mechanic of Composite Material, Second Edition. Oxford University Press, UK, 2006.
23. M. Suhara, T. Shimizu, K. Hasegawa, T. Shigetom, M. Kambayashi ve Y. Sato, "Development of Quick Repair Method for Aircraft Composite Structure" *Mitsubishi Heavy Industries Tehnical Review* Vol. 53, No. 4, 2016.
24. H.M. Chong, S.L. Liu, A.S. Subramanian, S.P. Ng, S.W. Tay, S.Q. Wang and S. Feih. "Out-of-autoclave scarf repair of interlayer toughened carbon fibre composites using double vacuum debulking of patch" *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol. 107, pp. 224-234, 2018.
25. İnternet sitesi, https://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=surface_preparation_for_adhesive_bonding (28.01.2022).
26. HJ. Kim, HS. Kim, GY. Lee, MS. Kim, SH. Kim, R. Keller, JB. Ihn and SH. Ahn, "Three-dimensional carbon fiber composite printer for CFRP repair" *Composites Part B: Engineering* Vol. 174, 2019.
27. G. Pahl, W. Beitz, J. Feldusen and K. H. Grote Engineering Design: A Systematic Approach 3rd Edition. Springer-Verlag, London, 2007.

YAYIN İLKELERİ

Amaç

1. Makina tasarım ve imalatı alanında yerli teknoloji üretimine yönelik kuramsal ve uygulamalı çalışmaları duyurmak.
2. Bu alanda çalışan kişi ve kuruluşlar arasında bilgi alışverişini sağlamak.
3. Yayınlanan çalışmalar üzerinde teknik tartışma ortamı yaratmak.
4. Üniversite – endüstri arasındaki yakınlaşma ve işbirliğinin geliştirilmesine katkıda bulunmak.
5. Türkçe teknik bilgi birikimini arttırmak.

Kapsam

- (a) Dergi amaçları doğrultusunda aşağıda belirtilen konularda veya bunlara yakın konulardaki yazıları yayımlar;
Makina Tasarımı, Mekanik Sistemlerin Tasarımı ve Analizi, Makina Teorisi ve Mekanizma Tekniği, Makina Elemanları, İmalat Yöntemleri, Bilgisayar Yardımı ile tasarım ve İmalat, Robotik ve Esnek İmalat Yöntemleri, Akışkanlar Mekaniği, Malzeme Seçimi ve Malzeme Sorunları, Kalite Kontrolü, Fabrika Organizasyonu ve Üretim Planlaması, Bakım ve Onarım, Derginin amacına uygun diğer konular.
- (b) Dergide yayımlanacak makaleler, bir yeniliği, ilerlemeyi, gelişmeyi, araştırma ya da uygulama sonuçlarını içermek üzere araştırma makaleleri, uygulama makaleleri, derleme makaleleri, çeviri makaleleri ve kısa makaleler olabilir.
- (c) Dergide üyelerimize faydalı olabilecek imalat ve teknoloji ile ilgili araştırma ve çalışmaların sunulduğu veya firma ve kuruluşların tanıtıldığı yazılar yayımlanabilir

- (d) Derginin kapsamına giren konularda düzenlenen yurtiçi ve yurtdışı konferans, seminer, vb. etkinliklere ve ayrıca bu konulardaki kitap, dergi vb. yayınlara ait duyurular yer alır.

Makalelerin Değerlendirilmesi

Makina Tasarım ve İmalat Dergisi, yayın kalitesi olarak belirli bir düzeyin üstünde kalmayı amaçlamıştır. Türkiye koşullarını da gözönüne alarak, bu kalite düzeyinin sürdürülmesi için gerekli tüm çaba ve titizlik gösterilecektir. Dergi'ye gelen her makale kesinlikle incelemeden geçirilecek ve bu amaçla mümkün olduğu kadar Türkiye çapında ya da yurtdışında konunun uzmanı hakemler tarafından değerlendirilmesine özen gösterilecektir. İnceleme ve değerlendirme sonuçları hakkında makale yazarlarına bilgi verilecektir.

YAYIN HAKKI

Dergide yayımlanan makalelerin her türlü yayın hakkı Makina Tasarım ve İmalat Derneği'ne aittir. Dergideki yazılar, yazılı izin almadan başka yerde yayımlanamaz ve çoğaltılamaz.

ÇALIŞMA İLKELERİ

Derginin yasal sahibi, MAKİNA TASARIM VE İMALAT (MATİM) DERNEĞİ'dir.
"Dergi Yayın Kurulu" dergi yönetimi ile ilgili organdır. Dergi Yayın Kurulu, MATİM Derneği Yönetim Kurulu tarafından bir yıl süre ile seçilir. Yayın Kurulu derginin yayın ilkelerine uygun yayımı ile yükümlüdür. Yayın Kurulu faaliyetleri konusunda MATİM Derneği Yönetim Kuruluna bilgi verir ve onayını alır.

Journal of
MECHANICAL
DESIGN
AND
PRODUCTION

Journal of Mechanical Design and Production is a periodical, published by the Turkish Mechanical Design and Production Society, Ankara, Turkey. It is one of the society's aims, to publish qualified research and review papers in Turkish. The published papers are strictly refereed to maintain a high scientific and engineering level at international standard.

MAKALE GÖNDERME KOŞULLARI

Makina Tasarım ve İmalat Dergisi'ne yurt içinden ya da yurt dışından isteyen herkes yayımlanmak üzere makale gönderebilir. Gönderilen makalelerin dergi temel amaçlarına uygun ve dergi kapsamı içinde olması ve aşağıdaki makale kabul ilkelerini sağlaması gerekmektedir. Dergi Yayın Kuruluna gelen her makale en az iki hakem tarafından değerlendirilir ve sonuç olumlu ya da olumsuz olsa da, yazarına bildirilir.

Makina Tasarım ve İmalat Dergisinde aşağıdaki makaleler yayımlanabilir.

- Araştırma Makaleleri.
 - Uygulama Makaleleri.
 - Derleme Makaleleri: Belirli bir konu üzerinde bilimsel ve teknolojik son gelişmeleri zengin bir kaynakçaya dayanarak aktaran ve bunların değerlendirmesini yapacak nitelikte olmalıdır.
 - Çeviri Makaleler: Yerli teknoloji ve bilgi birikimine önemli bir katkıda bulunacak nitelikte olmalıdır.
 - Kısa Makaleler: Yapılan bir çalışmayı zaman geçirmeden duyuran veya bu dergide yayımlanan bir makaleyi tartışan yazılardır.
 - Diğer: Yukarıda tanımlanan içerikte olmayan, ancak üyelerimize faydalı olabilecek, imalat ve teknoloji ile ilgili çalışma ve araştırmaların sunulduğu, firma ve kuruluşların teknik özelliklerinin tanıtıldığı yazılardır.
- Örnek makale <http://www.matim.org.tr> sitesinde verilmiştir. Yazarlar, makalelerini TÜBİTAK ULAKBİM tarafından yürütülen <http://dergipark.org.tr/tr/pub/matim> sitesine yüklemelidirler. Bir sorun ile karşılaşılırsa İlhan Konukseven (konuk@metu.edu.tr) veya Hakan Kalkan (hakan.kalkan@atilim.edu.tr) ile iletişim kurabilirler. Yazarlar, yayınlanma kabulünü takiben makalenin en son halini elektronik olarak aynı şekilde yüklemelidirler. Kelime-işlemci olarak Windows işletim sisteminde çalışan MS Word program paketi kullanılmalıdır.

MAKALE KABUL İLKELERİ

Makaleler içerik ve şekil olarak aşağıda belirtilen biçimde hazırlanmalıdır.

Yazım Dili

Kullanılan dilin olabildiğince basit, anlaşılır ve kesin olmasına özen gösterilmelidir. İleri düzeyde teknik ya da alışılmamış kavramlar kullanılmak gerektiğinde, bunlar uygun bir şekilde tanımlanmalı ve yeterince açıklanmalıdır.

Makalenin Yapısı

- Makaleler, aşağıda verilen yapıda olacak şekilde hazırlanmalıdır.
- Makalenin adı
 - Yazar(lar) ad(lar)ı, ünvanları, bağlı olduğu kuruluş ve kuruluşun bulunduğu il.
 - Özet ve anahtar kelimeler
 - Makalenin ana kısmı
 - Teşekkür (gerekli ise)
 - İngilizce başlık, özet ve anahtar kelimeler
 - Kaynakça
 - Ek(ler) varsa
- Makalenin adı, olabildiğince kısa, gereksiz ayrıntıdan arınmış olmalı, ancak gerekli anahtar sözcükleri içermelidir. Yazarların ad ve soyadları, ünvanları, bağlı olduğu kuruluş ve bulunduğu il verilmelidir. Ayrıntılı görev ve adres ise ayrı bir kağıtta ve yazarların kısa özgeçmişleri ile birlikte belirtilmelidir. Özetinde sadece sonuçlar değil makalenin tümü çok kısa ve öz şekilde açıklanmalıdır. Özet, makalenin konusu, kapsamı ve sonuçları hakkında fikir verebilmeli, ilgili anahtar sözcük ve deyimleri içermelidir. 100 kelimeyi geçmeyen Türkçe özetin ve anahtar sözcüklerin İngilizcesi de konulmalı ve makale başlığının İngilizcesi de mutlaka yazılmalıdır. Bu konuda istenirse dergi Yayın Kurulu yardımcı olabilir.

Makalenin ana kısmında makalenin amacından söz edildikten sonra bir mantık zinciri içinde sorun tanımlanmalı, çözüm yolları ve diğer bilgiler verilerek sonuçlar ve bunların değerlendirilmesi sunulmalıdır.

Teşekkür kısmında gerekiyorsa kişi, kuruluş ya da firmalara teşekkür edilebilir. Özellikle firma adlarının bu bölümünün dışında başka bir yerde verilmemesine özen gösterilmelidir.

Başlıklar

Gerek makalenin yapısını belirlemek, gerekse uzun bölümlerde düzenli bir bilgi aktarımı sağlamak için üç tür başlık kullanılabilir:

- Ana Başlıklar,
- Ara Başlıklar,

- Alt Başlıklar.

Ana Başlıklar: Bunlar, sıra ile, özet, makalenin ana kısmının bölümleri, teşekkür (varsa), kaynakça, ekler (varsa)'den oluşmaktadır. Ana başlıklar büyük harflerle yazılmalıdır.

Ara Başlıklar: Yalnız birinci harfleri büyük harfle yazılmalıdır.

Alt Başlıklar: Yalnız birinci harfleri büyük harflerle yazılmalı ve hemen başlık sonunda iki nokta üstüste konularak yazıya aynı satırda devam edilmelidir.

Matematiksel Bağıntılar

Matematiksel bağıntılar, bilgisayar ile anlaşılır şekilde açık ve seçik olarak yazılmalı, Türkçe alfabenin dışındaki karakterleri sayfanın sol tarafındaki boşlukta ayrıca ne oldukları yazılı belirtilmelidir. Üst ve alt harf veya rakamlar belirgin bir şekilde yazılmalıdır. Özellikle bilgisayar kullanımda "l" (le) harfi ile "1" (bir) sayısının, "O" harfi ile "0" (sıfır) sayısının karıştırılmamasına özen gösterilmelidir. Metin içindeki bağıntılar 1 (bir)'den başlayarak sıra ile numaralandırılmalı ve bu numaralar eşliğin bulunduğu satırın sağ kenarına parantez "()" içinde verilmelidir.

Şekiller, Çizelgeler ve Resimler

Şekiller, küçültme ve basımda sorun yaratmamak için bilgisayar ile düzgün ve yeterli çizgi kalınlığında çizilmelidir. Şekiller 1 (bir)'den başlayarak ayrıca numaralandırılmalı ve her şeklin altına alt yazılarıyla birlikte yazılmalıdır. Çizelgeler de şekiller gibi, 1 (bir)'den başlayarak ayrıca numaralandırılmalı ve her çizelgenin üstüne başlığıyla birlikte yazılmalıdır.

Resimler yeterli çözünürlükte sağlanmalıdır. Ayrıca şekiller için verilen kurallara uyulmalıdır. Derginin elektronik ortamda renkli olarak yayınlanacağı dikkate alınmalıdır.

Çizelge başlıklarının sadece ilk kelimesinin baş harfi büyük harfle, diğer harfleri ve kelimeler küçük harfle yazılmalıdır. Çizelge başlıkları, ayrıca bir sayfada da sıra ile verilmelidir.

Dip Notu

Dip notu gereken yerlerde bu bir üs numarası 1 ile belirtilmelidir. Buna karşılık gelen dip notu aynı sayfanın altında ara metinle bir çizgi ile ayrılmış olarak verilmelidir.

Kaynakça

Makale içinde gönderme yapılan (atıfta bulunulan) her türlü basılı yayın makalede söz edildiği sırada ve köşeli parantez [] içinde verilmelidir. Dergilerde yayımlanan makaleler, kitaplar, raporlar, tezler, kongre ve sempozyumlarda sunulan makaleler aşağıdaki örneklerde verilen şekilde yazılmalıdır.

- Dergi Makalesi
1. Richie, G.S., Nonlinear Dynamic Characteristics of Finite Journal Bearings, *ASME, J. of Lub. Technology*, 105 (1983) 3, 375-376. Kitap
 2. Shigley, J.E. ve Mitchell, L.P., *Mechanical Engineering Design*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1983. Rapor
 3. Arslan, A.V. ve Novoseletsky, L.A., *Mathematical Model to Predict the Dynamic Vertical Wheel/Rail Forces Associated with Low Rail Joint*, AAR Technical Center, Technical Report, No.R-462, October 1980. Kongre Makalesi
 4. Adalı, E. ve Tunali, F., Bilgisayar Denetimli Tezgaha Geçiş, *1. Ulusal Makina Tasarım ve İmalat Kongresi Bildiri Kitabı*, 287-293, ODTÜ, 1984.

Makalenin Uzunluğu ve Yazımı

Dergide yayımlanacak makaleler 13 makale sayfasını geçmemelidir. Makaleler bilgisayar ile A4 formatında, iki aralıklı olarak yazılmalı ve sayfa kenarlarında yeteri kadar boşluk bırakılmalıdır.

Kabul edilen makaleler dergi için yapılan dizgi ve şekilsel düzenlemeden sonra kontrol için basımdan önce yazarına gönderilir.

Yayımlansın veya yayımlanmasın gönderilen makaleler yazarına geri gönderilmez. Yazılardaki fikir ve görüşler yazarına, çeviriden doğacak sorumluluk ise çevirene aittir.

YAZIŞMALAR

Belirtilmemesi durumunda konuyla ilgili yazışmalar birinci yazarın adresine gönderilir.